

INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA TEXTIL

CARATULA

00 - PRESENTACION

01 - ORIGEN Y
EVOLUCION DE LA
TECNOLOGIA TEXTIL

02 - FIBRAS TEXTILES

03 - LA LANA:
COMPOSICION,
ESTRUCTURA Y
PROPIEDADES

04 - LA HILATURA DE
FIBRAS DISCONTINUAS

05 - IRREGULARIDAD DE
MASA EN HILADOS

06 - TEJEDURIA

07 - PROCESOS
HUMEDOS

08 - LA TINTURA TEXTIL

09 - LA ESTAMPACION
TEXTIL

10 - EL COLOR Y SU
MEDICION

11 - LA CONFECCION DE
VESTIMENTA

12 - EL IMPACTO SOBRE
EL MEDIO AMBIENTE

MAPA DEL SITIO

CARATULA

INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA TEXTIL es un Manual producto de la experiencia docente obtenida en el dictado de los Cursos de Tecnología Textil realizados en la Facultad de Ingeniería, desde 1985 hasta 2005, en Montevideo, Uruguay.

Autor: Juan C. Pesok, jpesok@hotmail.com

Introducción a la **TECNOLOGIA TEXTIL**



Juan C. Pesok

I.S.B.N. 9974-39-643-3
Registro de Derechos de Autor N° 400- Libro 28 - 19 / 04 / 04
Montevideo, Uruguay

PRESENTACIÓN

Este *Manual* es producto de la experiencia docente obtenida durante el dictado de los *Cursos de Tecnología Textil* realizados en la *Facultad de Ingeniería* (*) desde 1985 hasta 2005 (*). También este trabajo se ha beneficiado, tanto en el contenido como en la forma, de los valiosos aportes, comentarios y sugerencias realizados por los Ings. Teresa Zinelli, Héctor Camiou, Roberto García Granja, Teresa Aldaya y el Sr. Ruben Visca, todos ellos integrantes del SITAIQ (**).

El *Capítulo I* de la obra trata de presentar un panorama general y resumido de la evolución de la tecnología textil, desde sus remotos orígenes hasta nuestros días. Nos ha parecido conveniente su inclusión por entender que ese conocimiento puede ayudar al estudiante a lograr una mejor comprensión del estado actual de dicha tecnología.

Con respecto al *Capítulo II*, "*Fibras Textiles*", corresponde señalar que su *Sección 2.5.0*, "*Medición de la longitud de las fibras textiles*", fue redactada con la colaboración de los profesores *Ing. Rosario Rodríguez* (*) e *Ing. Enrique Testorelli* (*).

Si bien las propiedades y características de la lana se tratan resumidamente en la *Sección 11.0.0* del *Capítulo II*, el tema se vuelve a presentar más extensamente en el *Capítulo III*, en consideración a la importancia que tiene esta fibra para la economía de nuestro país.

Con respecto al *Capítulo V*, "*Irregularidad de Masa en Hilados*", deseo expresar mi agradecimiento a la firma *Zellweger Uster Ltd.* por autorizarme a reproducir, de su "*Evenness Testing Application Handbook*", la mayor parte de las figuras y tablas que aparecen en él.

Con respecto a los *Capítulos VII, VIII y X*, "*Procesos Húmedos*", "*Tintorería Textil*" y "*El Color y su Medición*", respectivamente, deseo expresar muy especialmente mi agradecimiento al *Dr. Luis Poletti* (*), por haber leído los manuscritos y aportado valiosos comentarios y sugerencias.

Finalmente el *Capítulo XII*, "*El Impacto de las Actividades Humanas sobre el Medio Ambiente*", pretende ser una breve revisión sobre un tema de importancia creciente. Entendimos que era pertinente incluirlo, como colofón de un trabajo que toca temas relativos a la producción industrial en la que, siempre, debe estar presente la preocupación por minimizar su impacto sobre el medio ambiente.

Al final de cada *Capítulo* (y en algunos casos, al final de algunas *Secciones*), se incluye una lista de referencias bibliográficas para aquellos que quieran profundizar en el estudio de esos temas. Pensando en quienes decidan leer algunos capítulos por separado se han tratado ciertos temas en forma reiterada con la finalidad de mejorar la comprensión general de cada capítulo.

Muchas figuras han sido tomadas de Internet, considerándolas de dominio público. Las tomadas de libros y publicaciones llevan al pie una indicación que permite identificar su origen. En general, las figuras tomadas de libros se reproducen con autorización escrita de sus autores. Si involuntariamente no se hubiere citado el origen de alguna figura, o no se hubiere obtenido la debida autorización para reproducirla, se expresa acá la disposición a corregir esa omisión en futuras ediciones.

Este trabajo es seguramente imperfecto y toda sugerencia para mejorarlo será muy bienvenida. Debe ser considerado sólo como una herramienta para facilitar la tarea de aquellos que se inicien en el estudio de la tecnología textil. Si alcanza esa finalidad, nuestras aspiraciones se habrán cumplido cabalmente.

Juan Carlos Pesok Melo (***)

Montevideo, Junio 2012

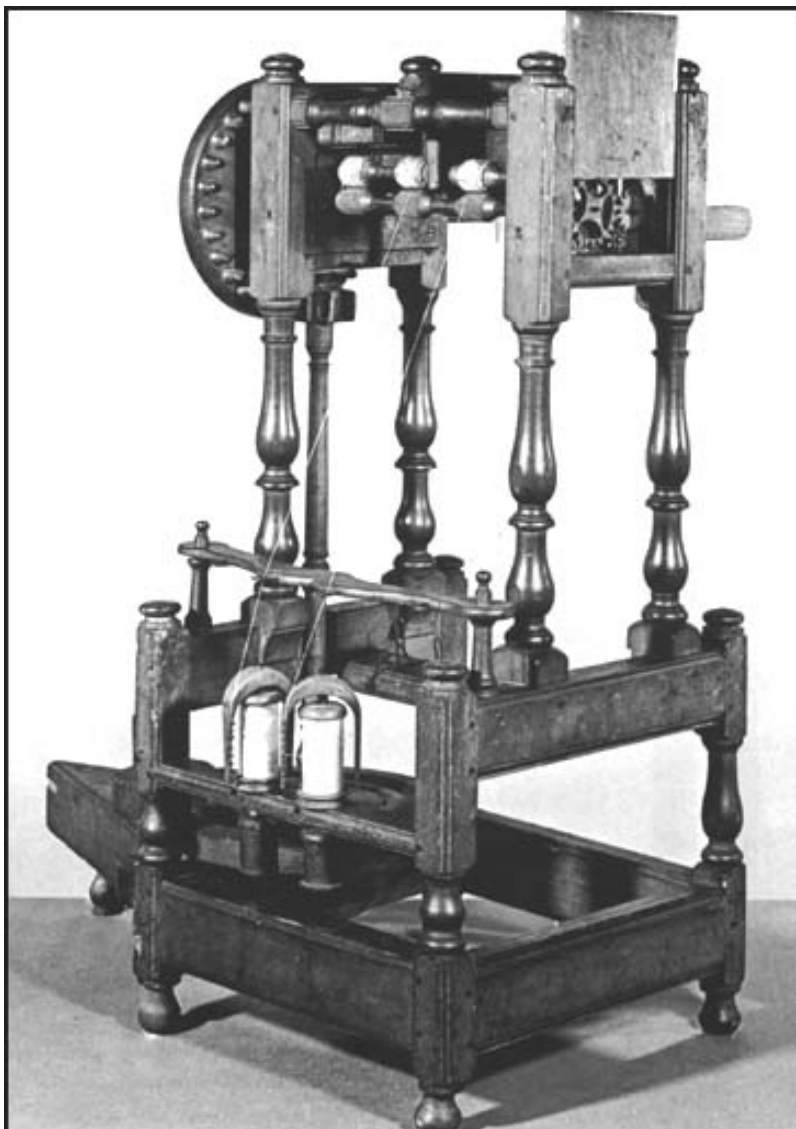
(*) *Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Julio Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay.*

(**) *Sector Textil de la Asociación de Ingenieros Químicos (SITAIQ), Gaboto 1083, Montevideo, Uruguay*

(***) < jpesosk@hotmail.com >

CAPITULO I

ORIGEN Y EVOLUCION DE LA TECNOLOGIA TEXTIL



"WATER-FRAME" de Richard Arkwright (1769)

CONTENIDO	PÁGINA
1.0.0- INTRODUCCIÓN.....	10
2.0.0- ORÍGENES DE LA TECNOLGÍA TEXTIL.....	11
3.0.0- LAS FIBRAS TEXTILES NATURALES.....	11
3.1.0- El Algodón.....	12
3.2.0- El Lino.....	12
3.3.0- La Lana.....	13
3.4.0- La Seda.....	13
4.0.0- LA ELABORACIÓN DE HILADOS A PARTIR DE FIBRAS.....	17
4.1.0- Orígenes de la hilatura.....	17
4.2.0- El torno-huso.....	21
4.3.0- La aleta y el torno de hilar o rueca.....	23
4.4.0- Falsa torsión y torsión verdadera.....	23
4.5.0- El "molinado" de la seda.....	26
4.6.0- Las nuevas máquinas hilanderas y la Revolución Industrial....	28
4.7.0- Métodos de hilatura no tradicionales.....	31
5.0.0- LA ELABORACIÓN DE TELAS A PARTIR DE HILADOS.....	42
5.1.0- Los telares primitivos.....	42
5.2.0- Los telares de tirantes.....	44
5.3.0- La primera máquina de tejer tejido de punto.....	46
5.4.0- El telar de John Kay.....	47
5.5.0- Los telares mecánicos.....	49
5.6.0- El telar de Jacquard.....	51
5.7.0- Los telares modernos.....	54
6.0.0- LA DESMOTADORA DE ALGODÓN DE ELI WITNEY.....	55
7.0.0- LAS FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS.....	60
8.0.0- EL DESARROLLO DE LOS COLORANTES SINTÉTICOS.....	65
9.0.0- LA ESTAMPACIÓN TEXTIL.....	68
10.0.0- LA CONFECCIÓN DE ARTÍCULOS TEXTILES.....	72
11.0.0- APENDICE. LAS MÁQUINAS DE VAPOR....	75
12.0.0- BIBLIOGRAFÍA.....	84
13.0.0- ALGUNOS MUSEOS QUE MERECEAN SER VISITADOS.....	84

1.0.0- INTRODUCCIÓN

El concepto de **evolución** está firmemente incorporado al pensamiento moderno. A partir de la publicación de "El Origen de las Especies" de **Charles Darwin**, en 1854, la idea de la creación simultánea de todos los seres vivos pasaría a ser controvertida. Las ideas de **Darwin** junto con las investigaciones de **Louis Pasteur** - que demostrarían en forma concluyente que todo ser vivo nace de otro ser vivo y no por "generación espontánea" - modificaron las concepciones sobre el origen de la vida y constituyen pasos de gigante en la historia del pensamiento humano. Desde ese momento, el concepto general de **evolución** se afirma y pasa a ser aplicable prácticamente a todos los aspectos del conocimiento humano. Se entiende que existe una evolución cósmica, una evolución molecular y una evolución biológica del mundo físico así como una **evolución cultural** de las sociedades humanas. Dentro de esa evolución cultural la evolución de la ciencia y de las técnicas tiene una importancia fundamental. En la **Tabla 1.1** se muestra un esquema de las grandes etapas evolutivas de las sociedades humanas de acuerdo a las formas de vinculación que tuvieron con el **medio ambiente**, con los **recursos energéticos** y con algunos de los **materiales** textiles disponibles.

TABLA 1.1
ETAPAS DE LA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

<i>PERÍODO HISTÓRICO</i>	<i>AÑOS ANTES DEL PRESENTE (inicio aprox.)</i>	<i>RELACIÓN PREDOMINANTE DE LOS GRUPOS HUMANOS CON EL MEDIO AMBIENTE</i>	<i>POTENCIA DISPONIBLE</i>	<i>MATERIALES DISPONIBLES PARA LA ELABORACIÓN DE VESTIMENTA</i>
Paleolítico	5.0 x 10 ⁴	NÓMADE Recolectores y cazadores	MUY BAJA 0.1 Kw (ser humano)	pieles de los animales cazados
Neolítico	1.0 x 10 ⁴	SEDENTARIA con predominio rural. Productores de alimentos con domesticación de plantas y animales	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Antigüedad	3.0 x 10 ³	ídem	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Edad Media	1 x 10 ³	ídem	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Renacimiento	0.6-0.7 x 10 ³	ídem	BAJA 1-10 Kw (animales domésticos, molinos de agua y de viento)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Edad Moderna	0.25 x 10 ³	SEDENTARIA con predominio urbano. Sistema de producción fabril. Gran utilización de combustibles fósiles	ALTA 10 ⁶ Kw ó más (máquinas)	Fibras naturales, artificiales y sintéticas

2.0.0- ORÍGENES DE LA TECNOLOGÍA TEXTIL

Entre 5000 y 10000 años a.C algunos grupos humanos, luego de un lento proceso de desarrollo, superaron la etapa del Alto Paleolítico e ingresaron en el Bajo Neolítico¹. Esos grupos dejaron de ser **nómades cazadores** y **recolectores** para ser **sedentarios** y **agricultores**, domesticando a los animales que antes cazaban y cultivando las plantas que antes recolectaban. Este fue un proceso muy lento en el que, en muchos casos, coexistieron las dos formas de producción de alimentos. Pero allí donde la **revolución agrícola** se afirmó constituyó el inicio de un desarrollo vertiginoso de nuevas técnicas que cambiaron radicalmente la relación de las sociedades humanas con el medio ambiente (*refs. 2, 3, 22*). Entre las primeras técnicas que aparecen hay cuatro muy importantes e íntimamente vinculadas entre sí: la **cordelería**, la **cestería**, la **cerámica** y la **textil**.

La **cestería** fue quizás desarrollada a partir de la observación de nidos y capullos y tiene sus orígenes en el Paleolítico, período en el que se elaboraban redes y trampas tejidas para la caza de animales. Su mayor desarrollo se produce, sin embargo, más tarde, en las comunidades agrícolas del Neolítico que comienzan a utilizar cestas para almacenar granos. Posteriormente, para el almacenado de granos, se utilizarán recipientes cerámicos. La **cerámica** es posterior a la **cestería** pues, antes de la invención del torno alfarero, los cacharros se formaban moldeando las pastas cerámicas dentro de cestas. Se han encontrado restos arqueológicos de recipientes cerámicos que presentan, en su superficie, marcas de la textura de la cesta que los contuvo.

Las cestas se construían seguramente, con tallos y subproductos de las cosechas, como lo evidencian algunos de los restos hallados. Estos materiales se utilizaban con un mínimo de elaboración. En cambio las cuerdas y torzales utilizados para atar animales, como requerían mayor resistencia, se elaboraron uniendo varios tallos y sometidos luego a torsión o a trenzado. La vinculación de la **cordelería** y la **cestería** con las técnicas **textiles** es evidente: la elaboración de cuerdas es en cierta forma el origen de la **hilatura** y la producción de cestas, el de la **tejeduría plana**. La **tejeduría de punto**, por otra parte, tiene su antecedente más probable en la fabricación de redes de pesca (*ref. 3*).

Si bien ya desde aquellos remotos tiempos, el Hombre utilizó los textiles para diversos usos, la **vestimenta** ha sido una de las aplicaciones más importantes. Como una segunda piel, creadora de un microclima portátil, la **vestimenta** le ha protegido del calor y del frío excesivo permitiéndole extender sus comunidades, primero pocas y escasas, a casi todos los rincones de la Tierra, por inhóspitos que estos fueran. La sustitución de las pieles del cazador paleolítico, por los textiles del agricultor neolítico, facilitó una mejor adaptación de las comunidades humanas a la diversidad climática del planeta. La vestimenta ha cumplido también un rol cultural y social muy complejo e importante, marcando diferencias y jerarquías dentro de los grupos humanos.

3.0.0- LAS FIBRAS TEXTILES NATURALES

Desde el Neolítico, y hasta finales del siglo XIX, el hombre solo dispuso de **fibras naturales** para elaborar **hilados** con los que luego tejería telas para después, con estas, confeccionar vestimentas y otros artículos textiles. Como fibras textiles más importantes se destacan cuatro: **el algodón**, **el lino**, **la lana** y **la seda** (*Figuras 1.2 a 1.11*). En la **Tabla 1.2** se indican sus finuras y largos promedios. En consideración a esos valores, a la seda que se obtiene como un largo filamento, se la considera una fibra "**continua**", mientras que al algodón, al lino y a la lana, mucho más cortas que la seda, se las considera fibras "**discontinuas**".

¹ Algunos pocos y aislados grupos humanos son aún hoy cazadores y recolectores, como en el Paleolítico

3.1.0- EL ALGODÓN

Está formado por el conjunto de fibras blancas que rodean las semillas de las plantas del género *Gossypium*. No se sabe con certeza cuanto hace que el hombre conoce el algodón: los indicios más antiguos señalan que era cultivado en el valle del Indo hace unos 5000 años atrás (*culturas Mohenjo-Daro y Harapa*). En la Antigüedad era muy conocida la habilidad de los hindúes para producir hilados de algodón muy delgados y tejer con ellos delicadas muselinas, llamadas “brisa tejida”.

De la India el algodón fue llevado a Egipto y también a China. Sin embargo, en China es probable que no se haya conocido hasta el 700 a.C. Es interesante señalar que el algodón fue también utilizado en América por las culturas precolombinas que, en forma independiente, desarrollaron su cultivo y lo utilizaron mucho antes de que llegaran los españoles. En 1492, cuando desembarcó Colón en una de las islas Bahamas, encontró allí plantas de algodón. En México, se han encontrado restos de algodón de características muy similares a las actuales, con una antigüedad estimada en unos 7000 años.

En Europa el algodón fue introducido por mercaderes árabes alrededor del siglo IX y en el siglo XVI era ya conocido en todo el mundo. Inglaterra importó las primeras telas de algodón alrededor del 1600, muchas de ellas mezcladas con lino y, en 1750, ya se producían en la isla prendas de algodón puro. La importación de algodón desde Norteamérica aumentó gradualmente y en 1790 alcanzó la cifra de aproximadamente 15.000 toneladas. La **Revolución Industrial** y la invención de la desmotadora de algodón de **Ely Whitney** (*ver Sección 6.0.0*), permitieron una gran expansión de la industria algodonera inglesa. En 1802 esa industria era responsable del 5% del ingreso nacional y en 1812 había ya aproximadamente 100.000 hilanderos y 250.000 tejedores trabajando en la industria. En 1830 la mitad del valor de las exportaciones inglesas correspondía a artículos textiles de algodón. Aún hoy el algodón sigue siendo considerado “*la reina de las fibras textiles*” y es una importante fuente de divisas para algunos países en desarrollo y un rubro de gran importancia en la economía mundial (*ref.17*).

3.2.0- EL LINO

La fibra de lino se obtiene del tallo de “*Linum usitatissimum*” y de “*linum perenne*”, plantas aparentemente originarias de Egipto, existiendo pruebas arqueológicas de su existencia desde el 6000 a.C. Las fibras de lino tienen longitudes variables que pueden llegar a 90 cm y finuras promedio de 12 a 16 micrones en diámetro aparente. El lino, al igual que el algodón, está constituido principalmente por un polímero natural, la celulosa. La celulosa del lino, sin embargo, es de más alta cristalinidad que la del algodón, lo que hace que sus hilados y telas sean más resistentes pero también más arrugables. Más del 70% de la producción de lino es destinada a la confección de prendas que, debido a que la fibra absorbe y libera el agua rápidamente, son muy frescas y confortables para usar en climas cálidos.

Los egipcios obtenían hilados de lino muy delgados, que aún hoy sólo se pueden lograr por hilatura manual. Se ha encontrado vendas de momias tejidas con urdimbres de título 246 N_e y tramas de 220 N_e. El lino fue luego cultivado en la Antigüedad por los romanos y difundido por toda Europa por los fenicios. Actualmente es cultivado especialmente en el norte de Europa, en climas de veranos moderadamente húmedos. Es un cultivo de importancia en Rusia, Irlanda, Francia, Bélgica y Holanda donde una hectárea puede rendir de 1.5 a 3.5 toneladas de fibra. El área total dedicada en Europa al cultivo del lino, en el año 2007, se estimaba en 120.000 hectáreas y en 320.000 para todo el mundo. En ese mismo año la Unión Europea lideraba la producción de fibra de lino con 122.000 toneladas seguida por China con alrededor de 25.000 toneladas.

3.3.0- LA LANA

Obtenida de los vellones de ovejas y cabras, la lana se hilaba hace unos 5000 años en los templos de la antigua civilización sumeria, bajo el riguroso control de los sacerdotes (ref. 11). Las ovejas, aparentemente, se difundieron luego desde Medio Oriente hasta la India y, desde allí, más al este aún. La lana fue también ampliamente utilizada por los cretenses, los griegos y los romanos pero no por los egipcios que, por razones religiosas, la consideraban impura. En la Edad Media, la lana de mejor calidad era la inglesa pero, hacia fines del siglo XV, se producía también lana de calidad en el resto del continente europeo. Si bien los volúmenes de producción de la lana siempre fueron mucho menores que los correspondientes al algodón, es una fibra muy apreciada por sus propiedades especiales que la hacen ideal para confeccionar prendas de abrigo. Esas propiedades son fundamentalmente el **rizo** que permite obtener hilados voluminosos con buena aislación térmica así como su mayor liberación de **calor** al absorber humedad.

3.4.0- LA SEDA

La seda es un **filamento doble** producido por glándulas de ciertos gusanos (*especialmente el "Bombyx Mori"*) que se alimentan de hojas de morera blanca y forman un capullo en el que se encierran para, después de un proceso de metamorfosis, emerger como mariposas. Estos gusanos segregan una sustancia proteica, la **fibroína**, que coagula al entrar en contacto con el aire, formando dos monofilamentos que son cementados por una segunda sustancia, la **sericina**, también de naturaleza proteica.

Este *filamento o doble fibra continua* puede llegar a tener un largo de aproximadamente 500 metros (ver Tabla 1.2). Según antiguas leyendas, la seda era ya conocida en China desde el 2700 a.C. de donde luego pasó a la India y al Japón. En el siglo VI d.C., para contrarrestar la nueva competencia de estos dos nuevos productores, los chinos comienzan a producir, como algo novedoso, telas mezclas de seda con algodón. Para ello introdujeron el algodón desde la India y mejoraron mucho su cultivo y la calidad de la fibra. Esto les permitió abaratar costos y competir nuevamente con éxito. La seda era enormemente apreciada ya en Grecia y Roma y luego en Bizancio, a donde llegaba de Oriente siguiendo la famosa "**ruta de la seda**" (Fig. 1). En cambio, la cría de gusanos de seda, o **sericultura**, comienza en Europa recién en el siglo X, especialmente en España y, más tarde, en Sicilia. Pero, también la tejeduría con hilado de seda importado de Oriente se establece firmemente en el norte de Italia, en la región de Lucca. Para el siglo XIV Italia había ya desarrollado la industria sedera más importante de Europa. Las riquezas que se generaron a partir de ella ambientaron, en gran medida, el "movimiento renacentista" que aparecerá el siglo siguiente. La industria de la seda se extendió luego a Francia, especialmente a la región de **Lyon**, y luego a otros países de Europa.

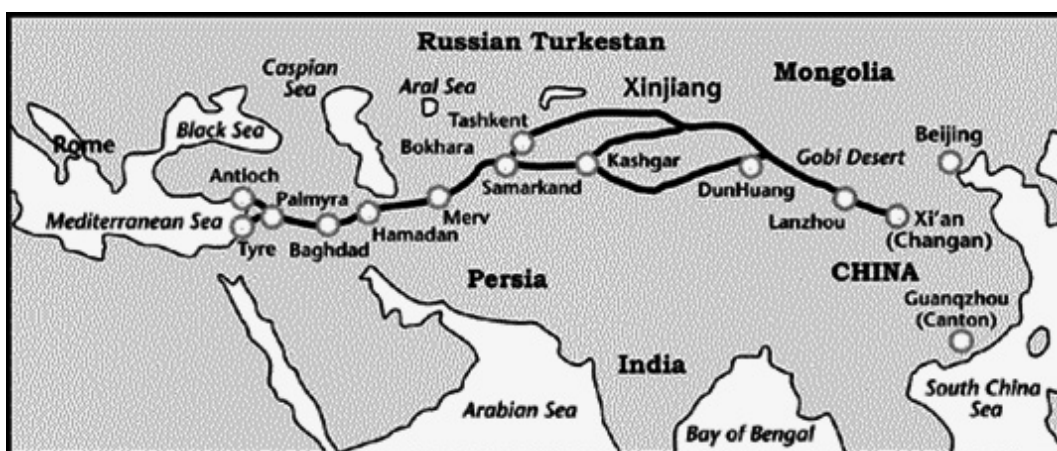


Figura 1.1 - La Ruta de la Seda

En 1271, **Marco Polo** realizó su famoso viaje a Oriente financiado por los mercaderes venecianos y a su regreso, entre otras cosas, trajo **telas** de algodón y de seda que despertaron gran interés. Muy pronto Constantinopla, Venecia y Génova se transformaron en centros de abastecimiento de **telas** de algodón y seda para toda Europa. Pero ya en 1325, en Manchester, se produce hilado y telas de algodón, importando la fibra de la India, y este es el primer gran paso para el desarrollo de la industria textil algodónera de Inglaterra. También en Florencia, Barcelona y Milán pronto se comienza a importar algodón en bruto de la India para hilarlo y tejerlo localmente. El lino y la lana, que eran las únicas fibras textiles que se producían en Europa, comienzan a sufrir la gradual competencia del algodón. Este proceso se acelera cuando, a fines del siglo XV, **Vasco da Gama** descubre una ruta directa por mar a la India y más aún cuando, muchos años después, se comienza a producir algodón en Norte América, con mano de obra esclava. El control de vastas regiones productoras de algodón y el tráfico de esclavos, hicieron que Inglaterra incrementara su poderío. Por otra parte, algunos tejedores hugonotes, huyendo de las persecuciones religiosas en Francia, se radican en Inglaterra y mejoran la calidad de la industria textil. Durante la **Revolución Industrial** se inventan nuevas y revolucionarias máquinas de hilar y de tejer (*ver Sección 4.6.0*). Todo esto hace que la industria textil inglesa alcance una posición predominante que mantendrá por mucho tiempo.

A partir de la segunda mitad del siglo XIX se desarrollan las **fibras artificiales** y luego - en la primera mitad del siglo XX - las **fibras sintéticas**. Estas fibras, hechas por el Hombre, se sumaron a las **fibras naturales** para aumentar así la variedad de opciones disponibles para el diseño y producción de artículos textiles (*ver Sección 7.0.0*)

¿QUÉ SE ENTIENDE POR "TECNOLOGIA"?

*Estrictamente, por **tecnología** debería entenderse el "estudio de las técnicas". Sin embargo muchas veces los términos "tecnología" y "técnica" se usan para referirse a lo mismo, es decir "el desarrollo y la utilización por el hombre de materiales, herramientas, máquinas y procesos para resolver los diferentes problemas que se le plantean en su relacionamiento con el medio ambiente y con su entorno social". Antiguas invenciones o desarrollos como el fuego, la rueda, las primeras herramientas, etc., y el uso que de ellos se hizo, son ejemplo de "técnicas" o "tecnologías". La **tecnología** antecede a la **ciencia** y de la unión de ambas nacerá la **ingeniería**. Podría también definirse a la **tecnología** como el nivel de conocimientos de que dispone el Hombre para combinar recursos y obtener diversos productos. Cada época histórica está caracterizada por un nivel de tecnología y se habla de **cambio tecnológico** cuando el nivel de esos conocimientos técnicos cambia y/o se incrementa.*

¿QUÉ ES UNA FIBRA TEXTIL?

- 1) es un cuerpo sólido, de forma aproximadamente cilíndrica
- 2) relativamente flexible,
- 3) macroscópicamente homogéneo,
- 4) con una muy alta relación de dimensión longitudinal a dimensión transversal
- 5) con una pequeña sección transversal, del orden de los micrones.
- 6) que sea **HILABLE**, es decir que sea capaz de formar con otras fibras un conjunto en el que todas estén más o menos **paralelizadas**. Este conjunto o "**mecha**" o "**cinta**", debe estar en condiciones de ser **estirado** y recibir **torsión** sin perder cohesión. Para ello las **fibras textiles** deben tener, **además de las características generales de toda fibra (1 a 5) una alta resistencia a la tracción** y, especialmente en el caso de las **fibras discontinuas**, un **alto índice de fricción fibra / fibra**.

**TABLA 1.2 *FIBRAS NATURALES
RELACIÓN "LARGO / DIÁMETRO APARENTE"**

<i>FIBRA</i>	<i>LARGO, L mm (*)</i>	<i>DIÁMETRO APARENTE, ϕ_a micras (*)</i>	<i>RELACIÓN $L : \phi_a$</i>	<i>TIPO DE FIBRA</i>
LANA	25-250	15-35	$1.7-7.0 \times 10^3$	discontinua
LINO	9-70	5-35	$0.25-14.0 \times 10^3$	discontinua
ALGODÓN	25-50	12-21	$1-4 \times 10^3$	discontinua
SEDA	5×10^5	3-20	$2.5 \times 10^7-1.6 \times 10^8$	continua

(*) valores típicos



Figura 1.2 Lana



Figura 1.3 Lino



Figura 1.4 Algodón



Figura 1.5 Seda

MICROFOTOGRAFÍAS DE FIBRAS TEXTILES

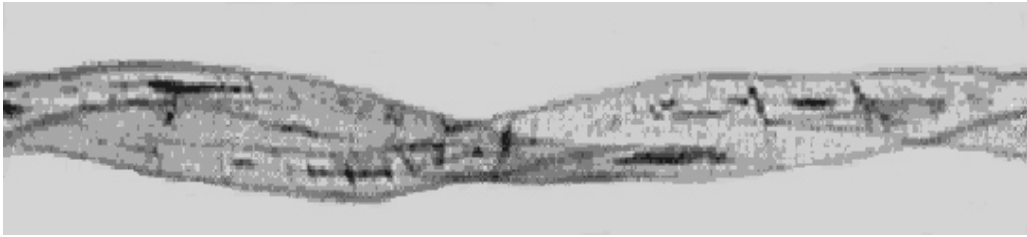


Figura 1.6 - Algodón



Figura 1.7 - Lana

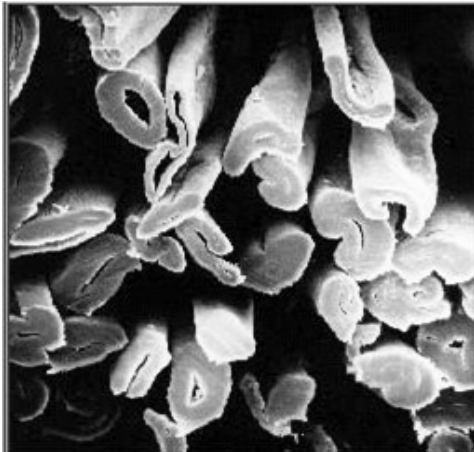


Figura 1.8 - Corte transversal de fibras de algodón



Figura 1.9 - Corte transversal de filamentos de seda

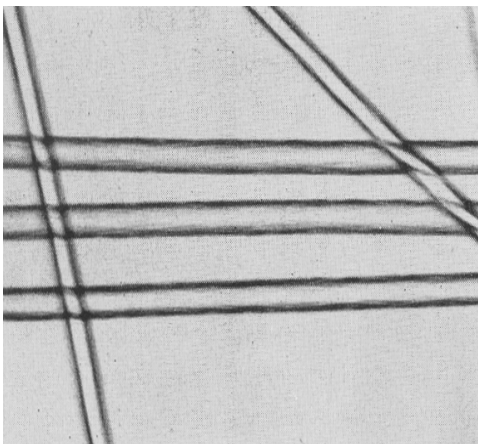


Figura 1.10 - Fibras químicas (artificiales o sintéticas)

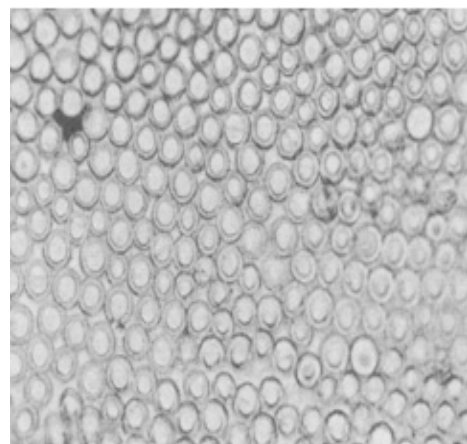


Figura 1.11 - Corte transversal de fibras químicas

4.0.0- LA ELABORACIÓN DE HILADOS A PARTIR DE FIBRAS

4.1.0- ORÍGENES DE LA HILATURA

Para elaborar un hilado de **seda**, es necesario sumergir los capullos en agua hirviendo para matar las crisálidas. Luego deben separarse cuidadosamente los **filamentos** – que forman los capullos - evitando que se corten, unir varios de ellos y bobinarlos juntos, insertándoles algo de torsión. Esta operación es conocida como “**molinado**” de la seda (ver *Sección 4.5.0*).

Pero, la hilatura con **fibras discontinuas** o “**cortas**”, como el **lino**, el **algodón** o la **lana**, es muy diferente a la hilatura con filamentos como los de seda (ver *Tabla 1.2*). En el caso de las fibras discontinuas es necesario realizar un proceso más complejo que consta de cuatro operaciones básicas: **1) paralelizado de las fibras discontinuas para formar una cinta o mecha**, **2) estirado de la cinta o mecha**, **3) inserción de torsión a la cinta o mecha** y **4) bobinado del hilado finalmente obtenido**. Antiguamente estas operaciones se realizaban manualmente, una después de otra. Se paralelizaban las fibras hasta formar una **mecha** que luego se estiraba hasta alcanzar el grosor deseado. Finalmente se le insertaba torsión a la mecha y el **hilado** así obtenido se bobinaba. La torsión se insertaba haciendo rodar la **mecha** entre las palmas de la mano, o entre la palma de la mano y otra superficie como la parte superior del muslo (ver *Figura 1.12*). Para este fin en la antigua Grecia las hilanderas utilizaban una pieza, generalmente de cerámica, el **epinetrón**, que se adaptaba a la parte superior del muslo y tenía una zona rugosa sobre la que se hacía rodar la mecha a los efectos de insertarle torsión (ver *Figura 1.13*). Sin embargo, de esta forma no era posible obtener hilados tan delgados como cuando se utilizaba el **huso**, una herramienta sencillísima que, probablemente, es más antigua que el **epinetrón**.

El **huso**, en sus orígenes, no era más que un palo con una **muesca** en uno de sus extremos y un contrapeso, o “**nuez**”, en el otro (ver *Figura 1.14*). La hilandera - pues este trabajo era desempeñado preferentemente por las mujeres - iba tomando pequeñas cantidades de un conjunto de fibras para formar una **mecha**, estirándola manualmente. Ataba luego el extremo de la mecha al cuerpo del **huso** y, pasándola por la **muesca**, dejaba caer el **huso** de tal forma que el giro del contrapeso se trasladaba al tramo de **mecha** sujeta entre la muesca y la mano del hilandero, insertándole torsión. Finalmente bobinaba en el **huso** lo que ya era un **hilado**: el tramo de mecha estirada y torsionada. El ciclo se repetía hasta llenar el huso con una buena cantidad de **hilado** (ver *Figuras 1.16 a 1.21*). Con el **huso** manual las cuatro operaciones básicas de la hilatura, **paralelizar, estirar, torsionar, bobinar**, solo se pueden realizar en forma “**discontinua**”. Los esfuerzos para realizar esas cuatro operaciones en forma “**continua**” forman parte de la historia de las máquinas de hilar modernas (refs. 4, 5 y 6).

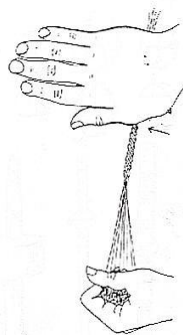


Figura 1.12
Hilatura manual

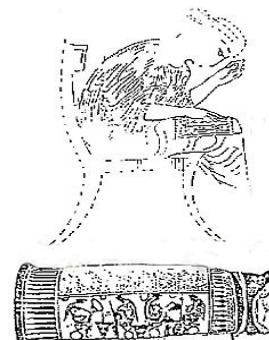


Figura 1.13
Epinetron griego, c 500 a.C. (ref. 3)

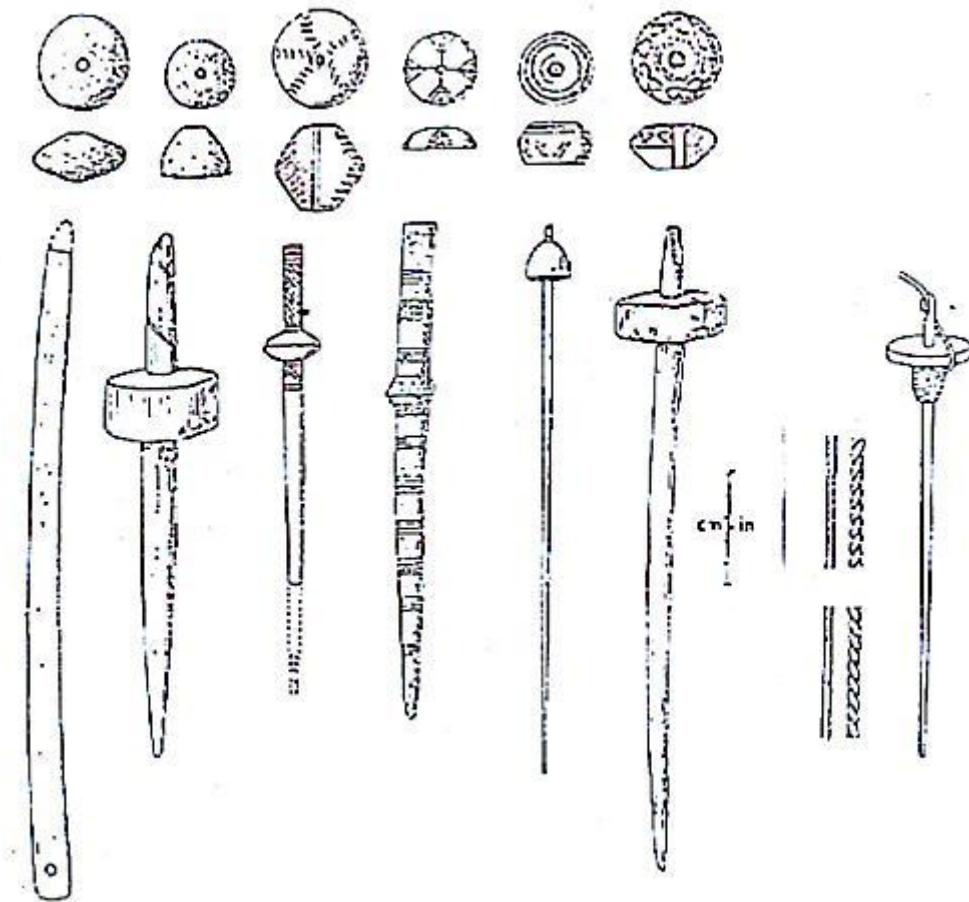


Figura 1.14
Husos de hilar con sus contrapesos correspondientes a diversas culturas (ref.3)

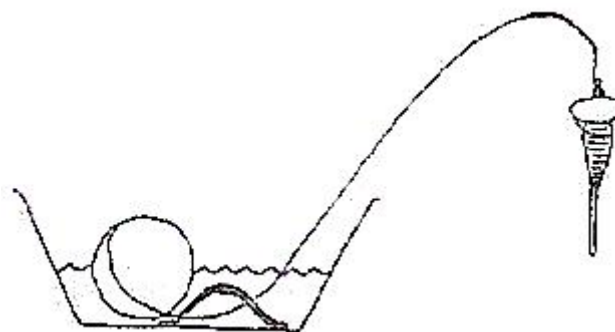
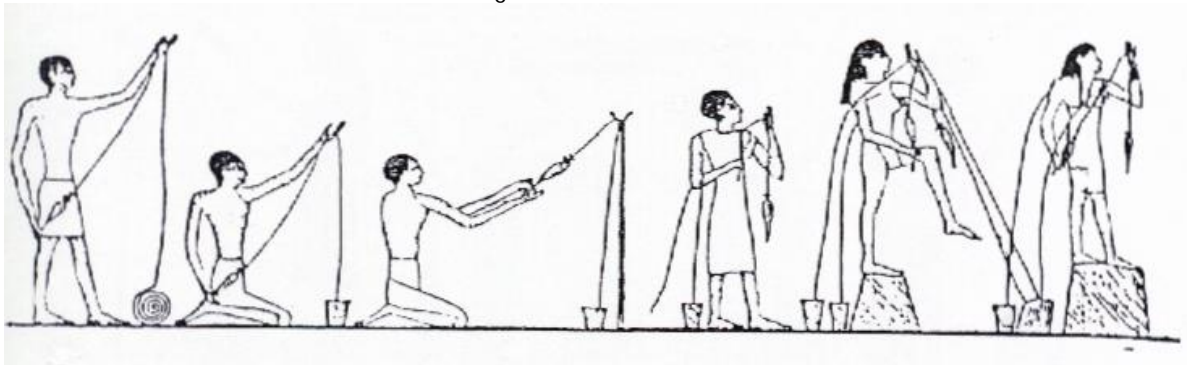


Figura 1.15
Para hilar fibras vegetales como el lino o el cáñamo, más fáciles de trabajar en húmedo, se sumergía el material en agua, utilizando vasijas con un anillo en su fondo por el que se hacía pasar la mecha (ref.7).

Figura 1.16



Hilando con huso. Mural de la tumba de Khéty, Beni Hasan, Egipto c. 1900 a.C.



Figura 1.17
Hiladero. Beni Hasan, Alto Egipto, c. 1900 a.C.



Figura 1.18
Hiladera hitita y escriba con tableta de arcilla.
Bajo relieve, Maras, Turquía, c 800 a.C. (ref.7)



Figura 1.19. Mujeres hilando con huso y tejiendo en telar vertical con la urdimbre tensada por contrapesos (ref. 7).



Figura 1.20
Mujer hilando con huso (de un vaso griego, c.490 a.C.)
(ref. 7)



Figura 1.21
Hilando con huso y soporte de fibras ("rueda")
(ref. 3)

4.2.0- EL "TORNO-HUSO"

Desde fines de la Antigüedad y a comienzos de la Edad Media se populariza en Europa el "torno-huso" (*ingl. "spinning wheel"*), que representa un importante adelanto en las técnicas de hilar. Consiste simplemente en un huso colocado en forma horizontal y movido por una polea conectada a una rueda (*ver Figuras 1.22 a 1.26*). La hilandera, con el hilado enganchado en la **muesca** del huso, sostiene con una mano el tramo de mecha a ser torsionada, formando con el eje del huso un ángulo mayor a 90°. Con la otra mano hace girar la rueda e inserta torsión. Una vez aplicada la torsión, desengancha el hilado de la **muesca**, lo coloca ahora a 90°, es decir, perpendicular al eje del huso y, volviendo a girar la rueda, bobina el hilado en el huso. Las cuatro operaciones básicas de la hilatura siguen siendo discontinuas pero la **inserción de torsión** y el **bobinado** se hacen en forma más cómoda y rápida.

Se estima que el "torno-huso" es originario de la India, donde se utilizó mucho antes que en Europa. Durante el proceso de independencia de la India **Mahatma Gandhi** instó a los hindúes a que hilaran algodón con "torno-huso", tejieran sus telas y confeccionaran sus propias prendas. Con esta producción artesanal se pretendía sustituir la importación de artículos textiles industriales hechos en Inglaterra - con algodón hindú obtenido a bajo precio - y afirmar así la independencia de la India. El "torno-huso" o "*charkha*" - nombre por el que se le conoce en la India - es entonces un símbolo de la resistencia anticolonial del pueblo hindú y está representado hoy, simbólicamente, en su bandera (*ver Figuras 1.26 a 1.27*). El funcionamiento de la *charkha* es asociado por los hindúes al continuo y eterno devenir del tiempo y de la vida. Es también considerado como una fuente de equilibrio y meditación.

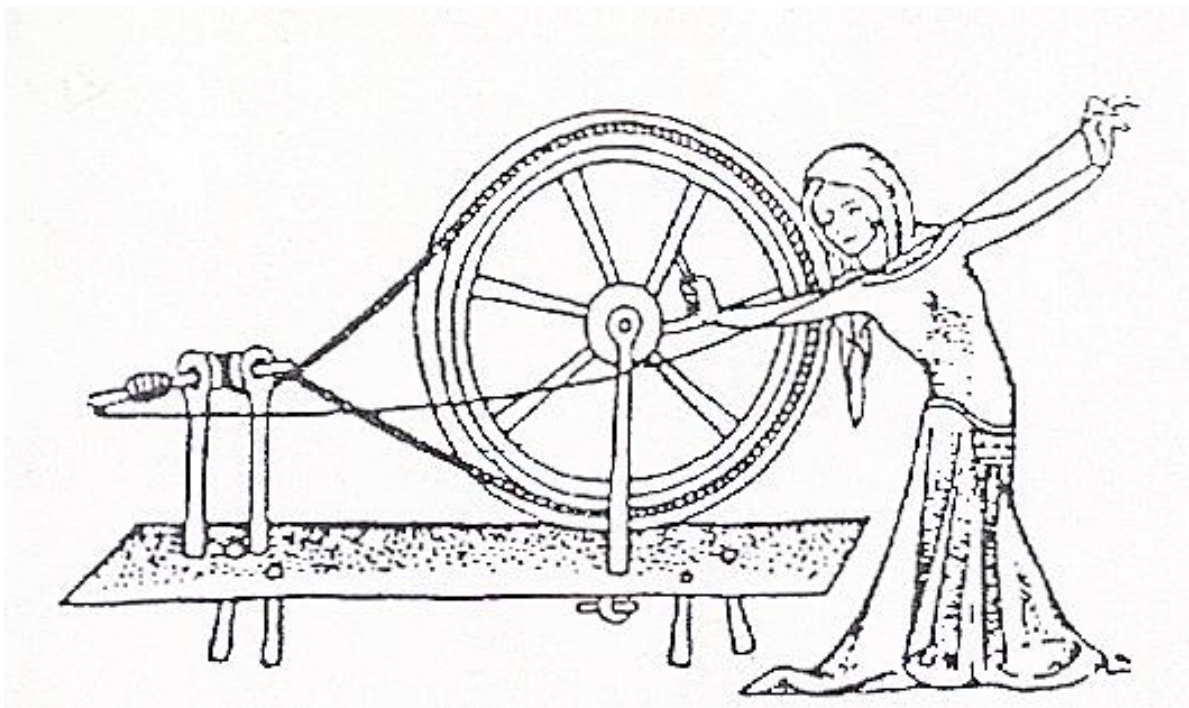


Figura 1.22. Torno-huso ("spindle-wheel"), c. 1338 (ref.3)



Figura 1.23

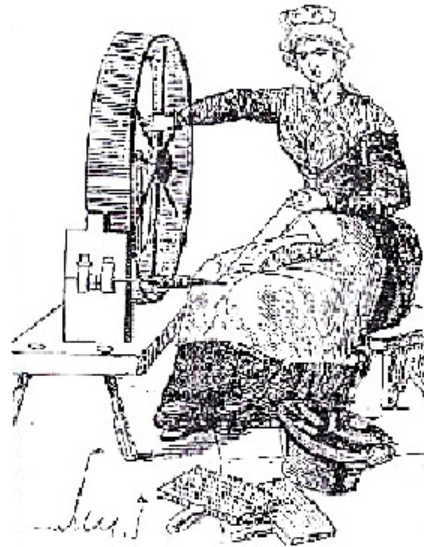


Figura 1.24

El Torno-huso era conocido en Europa también con los nombres de "rueda manual" o "rueda indostana"

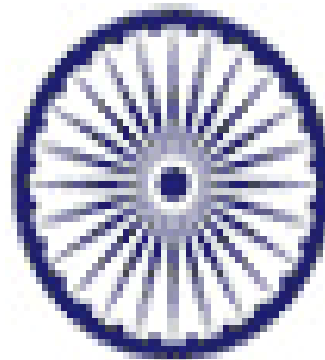


Figura 25

"Las Hilanderas" de Diego Velázquez (*Museo del Prado, Madrid*)



Mahatma Gandhi hilando con "charkha" o torno-huso c. 1945



Símbolo del "charkha" que figura en el centro de la bandera de la India

4.3.0- LA ALETA Y EL TORNO DE HILAR

A finales del Renacimiento se populariza en Europa un invento que revolucionará la hilatura. Se trata del “**torno de hilar**” que no es más que un “**torno-huso**” al que se le incorpora una pieza sencilla pero extremadamente ingeniosa y revolucionaria: la “**aleta**”. La creación de la **aleta** se atribuye a **Leonardo Da Vinci**, si bien algunos afirman que esta ya se conocía en Oriente desde antes.

El funcionamiento de un torno de hilar es como sigue: la **aleta** puede girar solidaria con el **huso** o en forma independiente a este. El hilado que se produzca será bobinado en el **carrete**, que se inserta en el **huso**. Al girar el huso la mecha avanza continuamente pasando a lo largo de uno de los brazos de la “**aleta**” (ver *Figura 1.31*). De esa manera, la mecha recibe **torsión** y el **hilado** es **bobinado** en forma **continua** en el **carrete** (*la mecha se va convirtiendo en hilado a medida que recibe torsión*). Por medio de pedales y poleas transmisoras se puede hacer girar el **huso** y la **aleta** en forma simultánea de manera que a la hilandera le quedan ambas manos libres para paralelizar y estirar la mecha, lo que acelera y hace más fácil el proceso de hilatura. Con el **torno-huso**, por primera vez, se logran hacer en forma continua, las dos últimas operaciones del proceso de hilatura: la **inserción de torsión** y el **bobinado**.

El “**torno de hilar**” es conocido también como “**rueca**”, si bien este nombre corresponde, más estrictamente, al soporte auxiliar que sostiene la masa de fibras de la que la hilandera manual iba tomando material para formar la mecha. El “**torno de hilar**” o “**rueca**” es utilizado, aún hoy, por muchos hilanderos artesanales.

4.4.0- FALSA TORSIÓN Y TORSIÓN VERDADERA

Si un tramo de mecha se sujeta con una mano por un extremo mientras que con la otra mano se hace rotar el otro extremo - siempre en un mismo sentido de giro - el tramo de mecha entre las dos manos recibirá **torsión**. Esta torsión será derecha (**S**) o izquierda (**Z**) según que el giro sea en sentido horario o anti horario, respectivamente. Una vez que se inserta torsión a una mecha podemos decir que ya es un hilado que puede ser bobinado. Si se inserta torsión de esta manera, a tramos sucesivos de mecha, todo el hilado que se bobine quedará con torsión **verdadera**, así llamada en contraposición a la **falsa torsión** que describiremos más abajo. En la **hilatura discontinua** con **huso** y con **torno huso** el hilado recibe este tipo de **torsión verdadera**.

Supongamos ahora que el tramo de mecha está **sujeto en sus extremos** - *puntos 1 y 2 de la Figura 1.28* - y que en el punto medio **T**, equidistante entre esos dos extremos, se inserta torsión con el giro indicado. En el tramo de mecha comprendido entre el punto **T** y el extremo izquierdo fijo, la torsión insertada será **derecha (S)**. En el otro tramo, comprendido entre **T** y el extremo fijo derecho, la torsión será contraria, es decir **izquierda (Z)**. Ambos tramos, de igual longitud, habrán recibido **torsión verdadera** pero de sentido contrario.

Supongamos ahora que el tramo de mecha considerado está sostenido, en cada uno de sus extremos, por las gargantas de dos pares de rodillos. Estos rodillos, con su giro, permiten que toda la **mecha avance** de izquierda a derecha, como se indica en la *Figura 1.29*. Si la torsión se inserta en el punto medio **T** - equidistante de las gargantas de cada par de rodillos - la torsión será, igual que en el caso anterior, **derecha (S)** entre el punto intermedio **T** y la garganta del par de rodillos izquierdo e **izquierda (Z)**, entre **T** y la garganta del par de rodillos ubicado a la derecha. **Pero como la mecha avanza de izquierda a derecha**, la torsión **S** recibida en la primera mitad izquierda se irá anulando a medida que pasa el punto **T** y recibe la torsión **Z** contraria correspondiente al tramo de la derecha. Entonces la mecha, a medida que avanza de

izquierda a derecha, quedará finalmente sin torsión **verdadera** pero, sus fibras, conservarán un cierto grado de "enredo" entre ellas. Se dice entonces que la mecha recibió "**falsa torsión**".

Si ahora consideramos el caso en que el punto T de inserción de torsión, en lugar de estar en un punto intermedio, está muy cerca del par de rodillos de salida de la derecha (*ver figura 1.30*), la cantidad de torsiones contrarias recibidas en el tramo derecho – ahora mucho más corto en relación al izquierdo - no serán suficientes para anular la cantidad de torsiones recibidas en ese tramo izquierdo. Por tanto en este caso la mecha saldrá con un saldo positivo de **torsiones verdaderas**. Esto es lo que, en definitiva, ocurre en las **ruecas**, donde el punto T de inserción de torsión corresponde a **la punta del brazo de la aleta** (*Fig. 1.31*). La pequeña distancia que va desde la punta del brazo de la aleta al punto de bobinado sobre el carrete, correspondería al tramo corto ubicado a la derecha en la *Figura 1.30*.

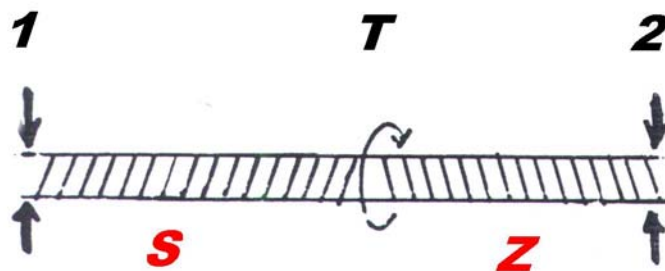


Figura 1.28

Si ambos extremos de la mecha están fijos, los dos tramos, a la izquierda y a la derecha del punto de inserción de torsión T, reciben **torsión verdadera** pero de sentido contrario

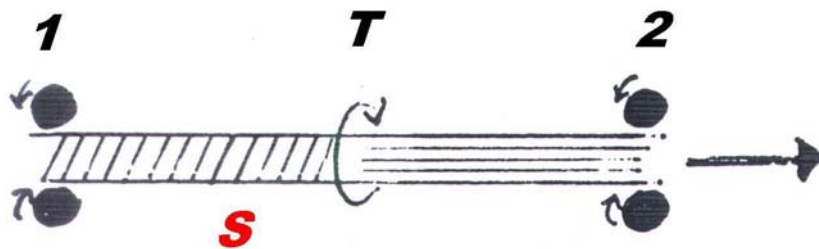


Figura 1.29

Si el punto de inserción de torsión T está equidistante de ambos pares de rodillos, la mecha sale con "**falsa torsión**", pues a la derecha de T recibe la misma cantidad de torsiones que a la izquierda, pero de sentido contrario.

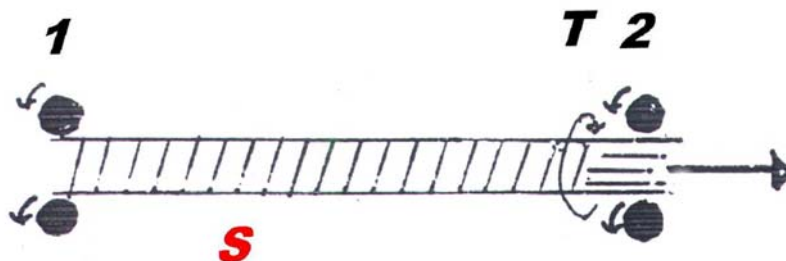


Figura 1.30

Si el punto de inserción de torsión T está muy cerca de los rodillos de salida, la mecha no recibe suficientes torsiones contrarias y por tanto sale con un balance positivo de **torsión verdadera** S

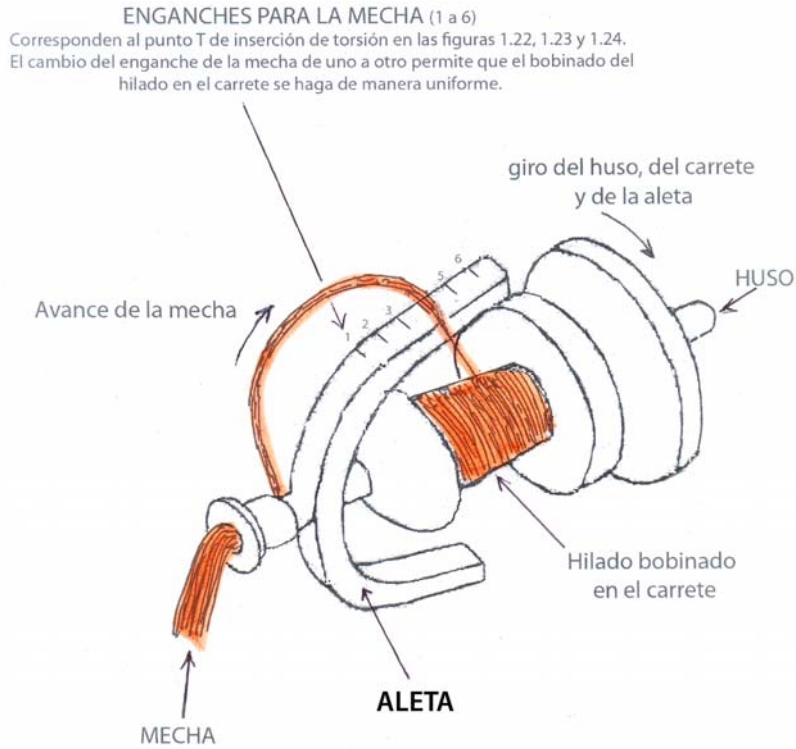


Figura 1.31

El giro del huso hace girar el carrete. El giro del carrete tira del hilado para bobinarlo. La aleta gira tirada por el hilado que se bobina. El hilado se forma porque la mecha recibe torsión por el giro de la aleta.

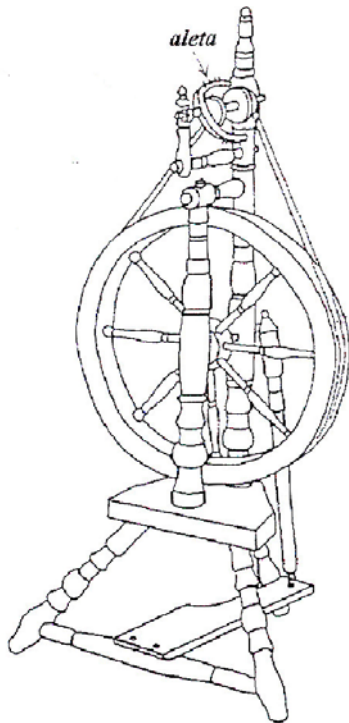


Figura 1.32 y 1.33 - Tornos de hilar o "ruecas"

La "aleta" permite insertar torsión a la mecha al mismo tiempo que se bobina el hilado en forma continua. El pedal hace girar simultáneamente el huso, el carrete y la aleta. La hilandera tiene las manos libres para estirar y alimentar mecha. En la Fig. 1.27 vemos a una anciana hilando con rueca irlandesa a fines del siglo XIX (foto tomada de Wikipedia)

4.5.0- EL MOLINADO DE LA SEDA

El antecedente más próximo a la extraordinaria invención que significó la “**aleta**” es seguramente, el “**molinado**” de la seda. Los capullos de seda, se sumergen en agua hirviente, para matar la crisálida y para ablandar la “**sericina**”, la sustancia cementante que mantiene unidos a los filamentos. El delgado y doble filamento de seda - de pocas micras de “diámetro aparente” - debe devanarse del capullo y agruparse con otros filamentos, de otros capullos, para obtener un hilado más resistente. En grupos que van de 3 a 8, los filamentos se bobinan en un molinete, aspadera o devanador para formar una madeja. Para aumentar la resistencia y regularidad del futuro hilado, estos grupos de filamentos se bobinan nuevamente en grupos de dos o tres, en un carrete. Estos carretes se insertan luego en husos (*R en la Figura 1.35*) provistos de un “sombrecito” con un alambre en forma de “S” (*B, en azul en la Figura 1.35*). El conjunto de filamentos (*en rojo en la Figura 1.35*) se hace pasar por los orificios guía-hilo ubicados en los dos extremos del alambre en “S” y se enrollan en un madejero ubicado por encima de los husos (*K, Figura 1.35*). Los alambres en “S”, al girar junto con el huso, insertan algo de falsa torsión al hilado multifilamento de seda. Este alambre en forma de “S” fue seguramente un precursor de la “**aleta**”.

Ya en 1272, en Bolonia, Italia, un exiliado de Lucca “molinaba” seda en un “molino” de muy alta productividad que utilizaba el mecanismo descrito arriba. Este taller de molinado de Bolonia fue un extraordinario adelanto para la época. Esta máquina, si bien sencilla, era extraordinariamente ingeniosa para el siglo XIII y su secreto fue celosamente guardado. Se describe someramente en un documento del siglo XIV y aparece esquemáticamente representada en un grabado florentino del siglo XV (*Figura 1.34*). Más tarde, en 1607 Vittorio Zonca publica en Padua su “Nuovo Teatro de Machine et Edificii” un libro que incluía numerosos grabados de máquinas, entre los que figuraba uno que representaba a un molino, movido por agua, para el “molinado” de la seda. El libro tuvo dos ediciones más: una en 1621 y otra en 1656. De todas maneras, los detalles constructivos de la máquina no eran claros y estos eran considerados un secreto de estado celosamente guardado.

Cien años después **John Lombe**, vinculado al negocio de la seda en la región de Derby, Inglaterra, viajó a Italia y se las ingenió para copiar la máquina, en una operación que bien puede considerarse como el primer espionaje industrial. Una vez de regreso con la información obtenida - y con la ayuda financiera de su hermano Thomas - **John Lombe** pudo construir - a orillas del río Derwent y con la dirección del ingeniero George Sorocold - una gran fábrica para el “molinado” de la seda (*Figura 1.36*). El edificio era de un tamaño asombroso para la época: tenía 6 pisos, 468 ventanas, albergaba 19.000 husos y en él trabajaron cerca de 300 operarios, en su mayoría mujeres y niños. Fue construida a un costo de 30.000 libras y las nuevas máquinas fueron patentadas e instaladas en 1718. Ruedas hidráulicas transmitían movimiento a las máquinas ubicadas en todos los pisos, por medio de poleas y engranajes. Es considerada la primera fábrica textil y un antecedente temprano de la Revolución Industrial, que tomaría pleno impulso unos 50 años más tarde. Por otra parte, el éxito de la empresa estimuló el gran desarrollo que posteriormente tuvo la industria de la seda en Inglaterra. Actualmente el edificio, reconstruido, alberga al Museo Industrial de Derby.

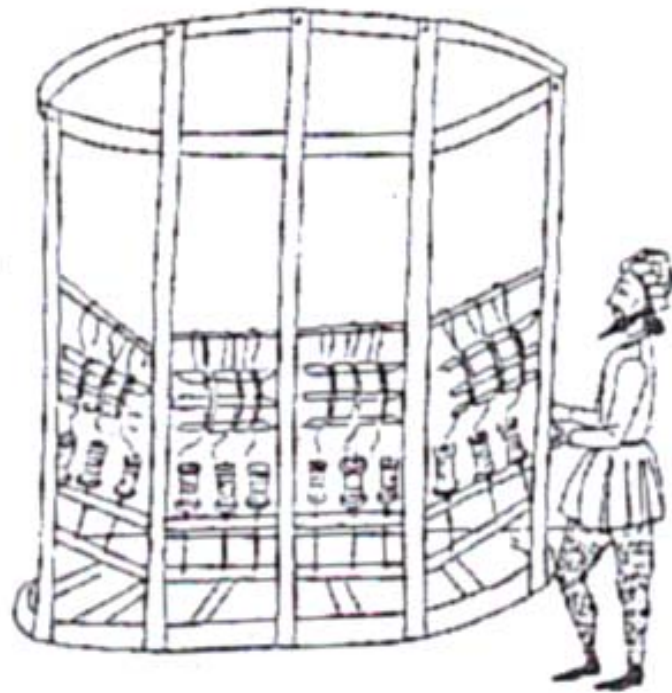


Figura 1.34 - Taller de "molinado" de seda según manuscrito florentino de 1487 (ref. 3)

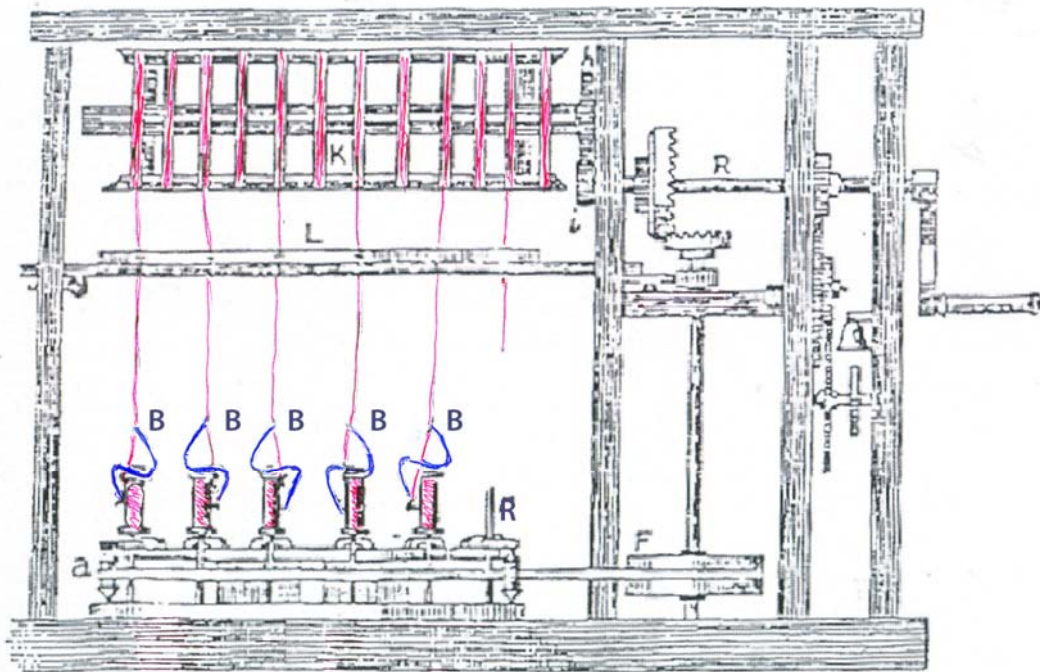


Figura 1.35
Equipo para el "molinado" de la seda de principios del siglo XVII (ref. 3)

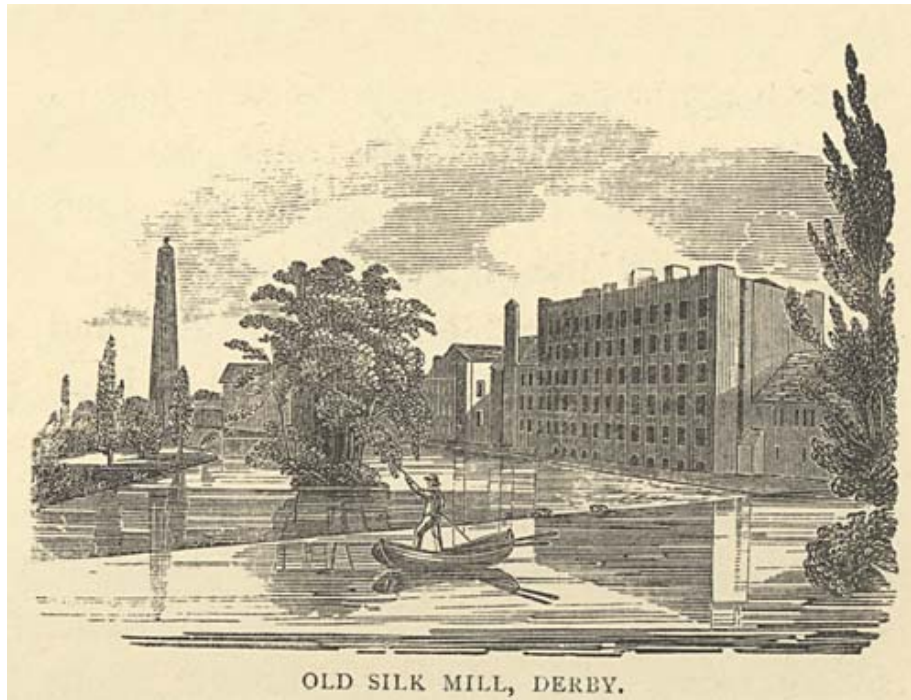


Figura 1.36

La fábrica de John y Thomas Lombe en Derby (UK), 1717
(actualmente el "Derby Industrial Museum")

4.6.0-LAS NUEVAS MÁQUINAS HILANDERAS Y LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

A principios del siglo XVIII, muchas familias campesinas europeas tenían pequeños cultivos de lino y pequeñas majadas de ovejas. Generalmente hilaban el lino y la lana de oveja para tejer luego sus propias telas, como actividad complementaria de las tareas rurales. El trabajo de hilar era realizado generalmente por las mujeres solteras (*ingl. "spinsters"*) mientras que el trabajo en el telar, mucho más duro y agotador, era realizado por los hombres. Estos trabajos se realizaban en las viviendas de los campesinos como una actividad artesanal doméstica (*ingl. "cottage industries"*)

En cambio en las ciudades prosperaba, en pequeños talleres, lo que podía llamarse "la industria del paño" que abarcaba varios oficios: tejedor, tintorero, batanador, etc., agremiados en "corporaciones" o "guildas", organizaciones sobrevivientes de la sociedad medioeval urbana. Estas actividades estaban extendidas ampliamente por Europa pero se concentraban especialmente en países ricos como Italia, Flandes e Inglaterra.

A mediados del siglo XVIII, la producción textil europea era sin embargo insuficiente para atender la demanda de una población que comenzaba a crecer aceleradamente. Habían transcurrido más de 200 años desde que **Vasco da Gama** abriera una ruta marítima a Oriente (1502). Ese período de tiempo había sido más que suficiente para establecer un importante comercio y los tejidos de algodón (y en menor medida los de seda) llegaban a Europa desde Oriente en grandes cantidades. La competencia creciente de los tejidos de algodón importados, especialmente muselinas y "calicós" (telas de algodón estampadas) procedentes de la India, perjudicaba a los productores rurales europeos, que criaban ovejas y cultivaban lino y llamaban al algodón "la fibra del diablo". En cambio los banqueros y comerciantes, que prosperaban con su comercio, le llamaban "el oro blanco". Esta competencia que sufrían los textiles europeos tradicionales - hechos de lino y de lana frente a los artículos de algodón y de seda provenientes de Oriente - hizo que casi todos los gobiernos de los países europeos impusieran gravámenes a esa importación. Inglaterra prohibió, en 1721, la importación de tejidos de algodón cediendo a las presiones de los comerciantes de lana.

Los hilanderos y tejedores europeos se propusieron entonces producir hilados y tejidos, **importando ellos mismos la materia prima**, especialmente el algodón. Sin embargo, previamente, se debían crear **nuevas tecnologías** que permitieran bajar costos y competir así exitosamente con los hilanderos y tejedores de Oriente². Esto fue uno de los impulsos motores que estimuló la aparición y el desarrollo del “**modo de producción fabril**” y de la **Revolución Industrial**. Grandes cantidades de un **combustible fósil, el carbón** (*al que en el siglo siguiente se le sumará el petróleo*) se comenzaron a utilizar para producir **vapor de agua**, cuyo poder expansivo era utilizado en las **máquinas de vapor**, recientemente inventadas (*ver 11.0.0 Apéndice*). En los nuevos talleres o “**fábricas**” estas **máquinas de vapor** comenzaron a mover **máquinas de hilar y tejer**, también recientemente inventadas. Esto permitió el ahorro de grandes cantidades de mano de obra lo que, sumado al pago de salarios extremadamente bajos, permitió que los productos europeos, y muy especialmente los ingleses, volvieran a ser competitivos frente a los de Oriente. Algunos años después, Inglaterra vendería en la India telas de algodón mucho más baratas que las producidas localmente. Es decir, en poco tiempo la modalidad del intercambio comercial se había revertido completamente.

El “**modo de producción fabril**” y la **Revolución Industrial** - por los cambios sociales, económicos y políticos que introduce - es un punto de inflexión en la historia de la Humanidad, de importancia casi equivalente al que se produce cuando se pasa del Paleolítico al Neolítico. Las innovaciones en tecnología textil, que aparecen en ese momento, desempeñaron un rol protagónico en ese crucial proceso de cambio (*refs. 13 a 16*).

A mediados del siglo XVIII para mantener abastecido a un tejedor era necesario, aproximadamente, una cantidad de hilado equivalente al trabajo de diez hilanderos. Con la mayor velocidad de producción resultante del recientemente inventado telar de **John Kay** (*ver Sección 5.4.0*) y sus *sucesivas mejoras*, esa relación se hizo aún mayor. Sin embargo esto no era un gran problema, pues había suficiente mano de obra para mantener abastecidos a los tejedores. El verdadero problema radicaba en que la hilatura era una actividad predominantemente rural y estaba sujeta a variaciones estacionales. En general, durante las cosechas el campesino no hilaba y esto creaba irregularidades en el suministro. Los tejedores estaban entonces obligados a mantener grandes “**stocks**” de hilados y los más perjudicados eran aquellos de menor poder financiero. Como la hilatura era una actividad más bien artesanal, por más experto que fuera el hiladero, el hilado que producía era en general de **calidad muy irregular**. Desde mucho tiempo atrás se venían haciendo esfuerzos por mejorar este problema y en 1734 los ingleses **Lewis Paul** y **John Wyatt** idearon un sistema de **estirado de la mecha** que utilizaba pares de rodillos de madera, accionados mecánicamente y que giraban a velocidades distintas (*ver Figuras 1.40 y 1.42*). Para el estirado o “*atenuación*” de la mecha, se hace pasar esta entre el rodillo superior e inferior de cada par. Los pares delanteros (*en el sentido de avance de la mecha*) giran a mayor velocidad que los traseros y de esa forma se produce un **estirado**. Este invento fue el primer antecedente de los modernos “*manuales*” algodoneros y de los “*gills*” laneros y el inicio del desarrollo de las **máquinas hilanderas** del siglo XVIII, que serán - junto con las **máquinas de vapor** - las grandes protagonistas de la Revolución Industrial.

Poco a poco se hacía evidente la necesidad de producir más y mejor hilado y, en 1751, la “*Society of Arts*” de Inglaterra estableció un premio de 50 libras para aquel que desarrollara una máquina capaz de “*hilar al mismo tiempo seis hilos de algodón, lino o cáñamo de tal forma que fuera necesaria solo una persona para su manejo*”. Recién en 1764, **John Hargreaves**, hiladero, tejedor

² Es quizás oportuno señalar que esto tiene vigencia actual ya que, p.ej., en nuestros días (2010) ocurre algo similar: debido a una competencia “globalizada” y especialmente de Oriente, las empresas, no solo textiles, deben introducir innovaciones tecnológicas para mejorar su competitividad en el mercado internacional.

y carpintero de Standhill, cerca de Blackburn, en Lancashire, creó una máquina hilandera de 8 husos a la que llamó "*spinning-jenny*", se dice que en honor a su esposa - o a su hija, según otras fuentes - Jenny. **Hargreaves** guardó por un tiempo el secreto de su invención, usando su máquina sólo para producir el hilado que utilizaba en su propio telar. Sin embargo, el vecindario se enteró y - al igual que lo ocurrido con el telar de **John Kay** - un día una turba de entró en su casa y destruyó la máquina, pues el invento se consideraba una amenaza para la forma tradicional de vida del gremio de hilanderos.

Hargreaves tuvo que dejar Blackburn y establecerse en Nottingham donde instaló, con algunos socios, una pequeña fábrica que funcionó con moderado éxito. El 12 de Junio de 1770 presentó una patente para una máquina de 16 husos que fue rechazada con el argumento de que ya había hecho y vendido varias de esas máquinas. La "*spinning-jenny*" (ver Figura 1.39) si bien era capaz de producir varios hilos a la vez, hilaba en forma "*discontinua*", como los husos manuales y producía hilado muy grueso que solo podía ser utilizado en urdimbre y no en trama. **Hargreaves** falleció en 1778 sin haber podido nunca recibir justos beneficios por su invención.

Mientras tanto, en 1768, **Richard Arkwright**, un peluquero de Lancashire que tenía como clientes a muchos hilanderos y estaba familiarizado con los problemas de estos, había construido una máquina que combinaba los rodillos estiradores, inventados por **Paul y Wyatt**, con los husos con **aletas** característicos de la rueca. Esto permitió, por primera vez, realizar de manera **continua** y con **varias mechas a la vez**, las operaciones de **estirado**, **inserción de torsión** y **bobinado**. La máquina hilandera de **Richard Arkwright** fue así la primera máquina de hilar continua y es un antepasado directo de las "**mecheras**" utilizadas hoy en las hilanderías de algodón.

La primera máquina de **Arkwright** (ver Figura 1.40) era capaz de producir la misma cantidad de hilado, con mayor regularidad y resistencia, que 600 mujeres trabajando con ruecas. La máquina, por medio de una transmisión con engranajes, era movida por un caballo que daba vuelta en una noria. Luego, el caballo fue sustituido por una rueda hidráulica, por lo que la máquina se conoció como "*Water Frame Spinning Machine*". Las hilanderías debían entonces, ubicarse en la orilla de un río o arroyo y se conocían como "*textile mills*" o "*molinos textiles*", por similitud con los molinos de granos, que tradicionalmente utilizaban energía hidráulica para la molienda. Cuando poco después se comienza a utilizar **vapor** como fuerza motriz, las hilanderías pueden ya instalarse en las ciudades, sin necesidad de estar al lado de una corriente de agua. Sin embargo, la tradición de llamar, en idioma inglés, a una fábrica textil "*a textile mill*", continua hasta el día de hoy. **Arkwright** construyó su primera fábrica textil en Cromford, Inglaterra, en 1774, con un gran éxito inicial. Sin embargo, perdió sus derechos de patente y eso permitió luego la aparición de una gran cantidad de hilanderías basadas en su invención. Por ejemplo, **Samuel Slater**, que había sido aprendiz en una de las hilanderías de **Arkwright**, logró eludir la prohibición de emigrar - vigente en Inglaterra en esos años para los trabajadores textiles - e instalar en **1790**, a orillas del río Blackstone, en Pawtucket, Rhode Island, USA, la primera hilandería de algodón americana utilizando "*water frames*". De esta manera, **Samuel Slater** es considerado hoy el padre de la industria textil americana pues fundó varias hilanderías más en Nueva Inglaterra así como la ciudad de Slatersville, en Rhode Island.

Otro ingenioso inventor inglés, **Samuel Crompton**, un violinista del teatro Bolton, combinó en 1779 los trenes de rodillos estiradores del "*Water Frame*" de **Richard Arkwright** con los husos de la "*Spinning-Jenny*" de **Richard Hargreaves** con la importante modificación de colocar a estos en un carro móvil (en la máquina original de Hargreaves están colocados en un soporte fijo). Por tratarse de un "híbrido", mezcla de dos máquinas, se le conoció como "*the Crompton mule*". La gran ventaja de esta máquina es que permite insertar torsión a las mechas **al mismo tiempo que son estiradas**. De esta manera, los tramos gruesos de las mechas reciben menos torsión que las tramos

finos y se pueden estirar más. Gracias a este auto-ajuste la **regularidad** del hilado es notablemente superior. Luego de muchos esfuerzos, en 1825, **J.Kennedy** y **R.Roberts** mejoran el diseño de **Samuel Crompton** y utilizan vapor como fuerza motriz. La máquina pasará a conocerse entonces como *“self-acting machine”* o *“selfactina”*. Esta máquina de hilatura *“discontinua”* o *“intermitente”* se sigue utilizando aún hoy en algunas hilanderías de lana de sistema cardado (ver Figura 1.41).

En 1828 se produce otro gran avance con el invento americano de la **“continua de hilar de anillo”** (*“ring spinning machine”*). En estas máquinas la aleta es sustituida por una pieza pequeña y liviana, el **“viajero”** o **“cursor”** que gira en un **“anillo”** concéntrico con el **huso**. El **“viajero”** o **“cursor”** es arrastrado por el hilado que se va produciendo de manera continua y obligado a girar en el anillo. Este giro inserta torsión al hilado que se va bobinando en forma continua en el carrete colocado en el huso (ver figura 1.42). La hilatura debe interrumpirse periódicamente para cambiar las bobinas llenas de hilado por otras vacías, pues el diámetro de la bobina llena no puede igualar ni superar al diámetro del anillo. A pesar de esto, como las operaciones de estirado, inserción de torsión y bobinado la máquina las hace en forma continua, pasó a ser conocida simplemente como **“continua de hilar”**. Con esta gran innovación las hilanderías, produciendo más y utilizando cada vez menos mano de obra, entran en la época moderna.

4.6.0- MÉTODOS DE HILATURA “NO TRADICIONALES”

Como acabamos de señalar, la **“continua de hilar de anillo”** fue llamada así justamente porque realiza en forma **“continua”** tres de las operaciones básicas de la hilatura: **1)** estirado de la mecha, **2)** inserción de torsión y **3)** bobinado del hilado. Sin embargo, el **diámetro del “anillo” establece un límite a la cantidad de hilado que se puede bobinar** y es necesario parar la máquina para retirar periódicamente, los **“portabobinas”** o **“canillas”** llenas, remplazándolas por las vacías. Esto implica en definitiva una **“discontinuidad”** en la producción. Este inconveniente se ha superado con los métodos de hilatura **“a cabo suelto”** o **“a cabo abierto”** (*“open end”*).

Los métodos de hilatura **“a cabo suelto”** consisten, básicamente, en separar las fibras de la mecha (que generalmente ya fueron separadas y vueltas a reunir en la operación de cardado) para hacerlas caer sueltas y en forma continua en la garganta de un rotor que gira y que formará el hilado³. La expresión **“a cabo suelto”**, proviene de que el hilado se forma a partir de fibras sueltas, que al irse compactando van recibiendo torsión desde el núcleo hacia afuera (ver Figuras 1.45 y 1.46). En el caso de la hilatura tradicional **“de anillo”**, la torsión se insertaba de afuera hacia adentro, es decir hacia el núcleo de la mecha.

El primer método de hilatura **“a cabo suelto”** fue patentado ya en 1807, pero recién en 1965, en la Feria Internacional de Maquinaria Textil de Brno, Checoslovaquia, se presenta la primera hiladora de rotor **“KS 200”** con sistema de estiraje y un régimen de revoluciones del rotor de 20.000 a 23.000 rpm. Con esta máquina, la velocidad de entrega del hilado llega a valores cercanos a los 100 metros/minutos y se obtienen bobinas de gran tamaño⁴. Con este sistema, la hilatura pasa entonces a ser verdaderamente **“continua”** y se alcanzan valores de producción muy superiores a los que se obtenían previamente (ver Figura 1.47). Además del sistema de **“cabo abierto de rotor”** aparecen luego otros sistemas a cabo abierto innovadores como el de fricción **“DREFT”**, el de jet de aire **“VORTEX”**, etc.

En los últimos años, los desarrollos tecnológicos de la hilatura han sido muy importantes. Además de los nuevos diseños de máquinas, la incorporación de la informática, la robótica y las nuevas modalidades de gestión han permitido aumentar la productividad y la calidad a niveles muy altos (ref.

³ En el caso de la hilatura **“a cabo suelto”** de rotor.

⁴ Los valores característicos para las **“continuas de anillo”** son del orden de solo 10 metros /minuto

15). Este avance continúa, como se puede apreciar en las publicaciones especializadas y en las ferias internacionales de maquinaria e insumos para la industria textil.



Figura 1.37 - Hilados en madeja



Figura 1.38 - Hilados en bobinas

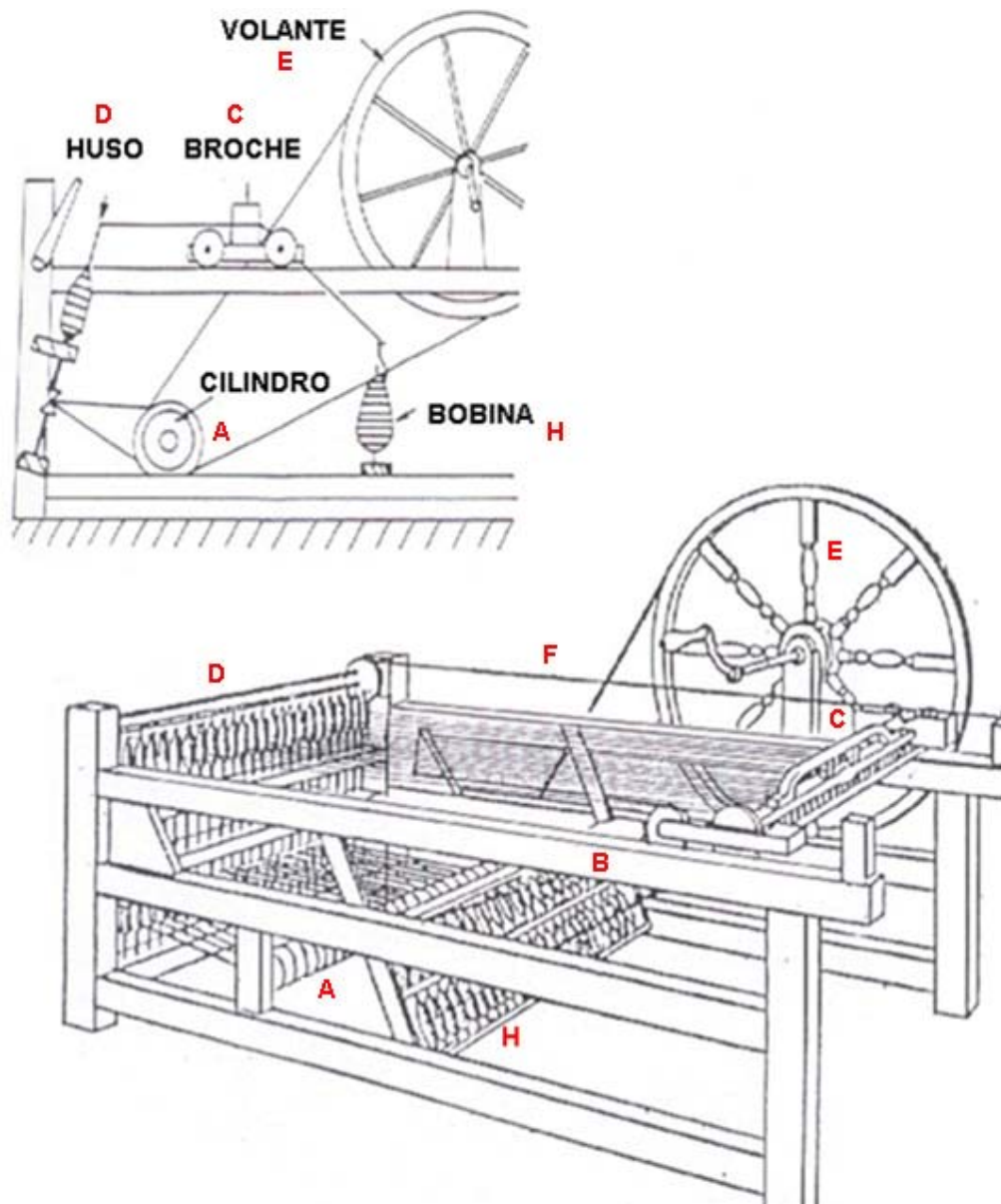


Figura 1.39

LA "SPINNING-JENNY" de James Hargreaves (ref.4)

Esta máquina poseía un carro **C** que se desplazaba sobre ruedas en un marco **B**. El carro al ir hacia **D** tira mecha de las bobinas ubicadas en el soporte inclinado **H**. Se afloja el broche del carro **C** y se le regresa a su posición original dejando las mechas en su lugar. Al apretar nuevamente las mechas con el sujetador de **C**, se gira manualmente el volante **E** el que a través de una polea, transmite movimiento al cilindro **A**. El cilindro **A** al girar transmite a su vez movimiento de giro a las "nueces" de los husos que están por debajo de **D**. El giro de los husos inserta torsión a las mechas. Una vez finalizada la inserción de torsión, se tira de la cuerda **F**, cae el alambre **D** y los mechas salen de las muescas donde estaban enganchadas mientras recibían torsión. Regresando el carro **C** (en dirección a **D**) al mismo tiempo que se gira el volante **E**, los husos ahora, al girar, bobinarán los tramos de hilado recién formado - tramos de mechas que acaban de recibir torsión - a la vez que se tira de nuevos tramos de mecha de las bobinas **H** (que aún no han recibido torsión). Se afloja el sujetador del carro **C**, se regresa este a su posición, se coloca nuevamente el sujetador y se inicia un nuevo ciclo. La "spinning-jenny" continuaba hilando en forma "discontinua" como el huso manual, pero producía varios hilos a la vez.

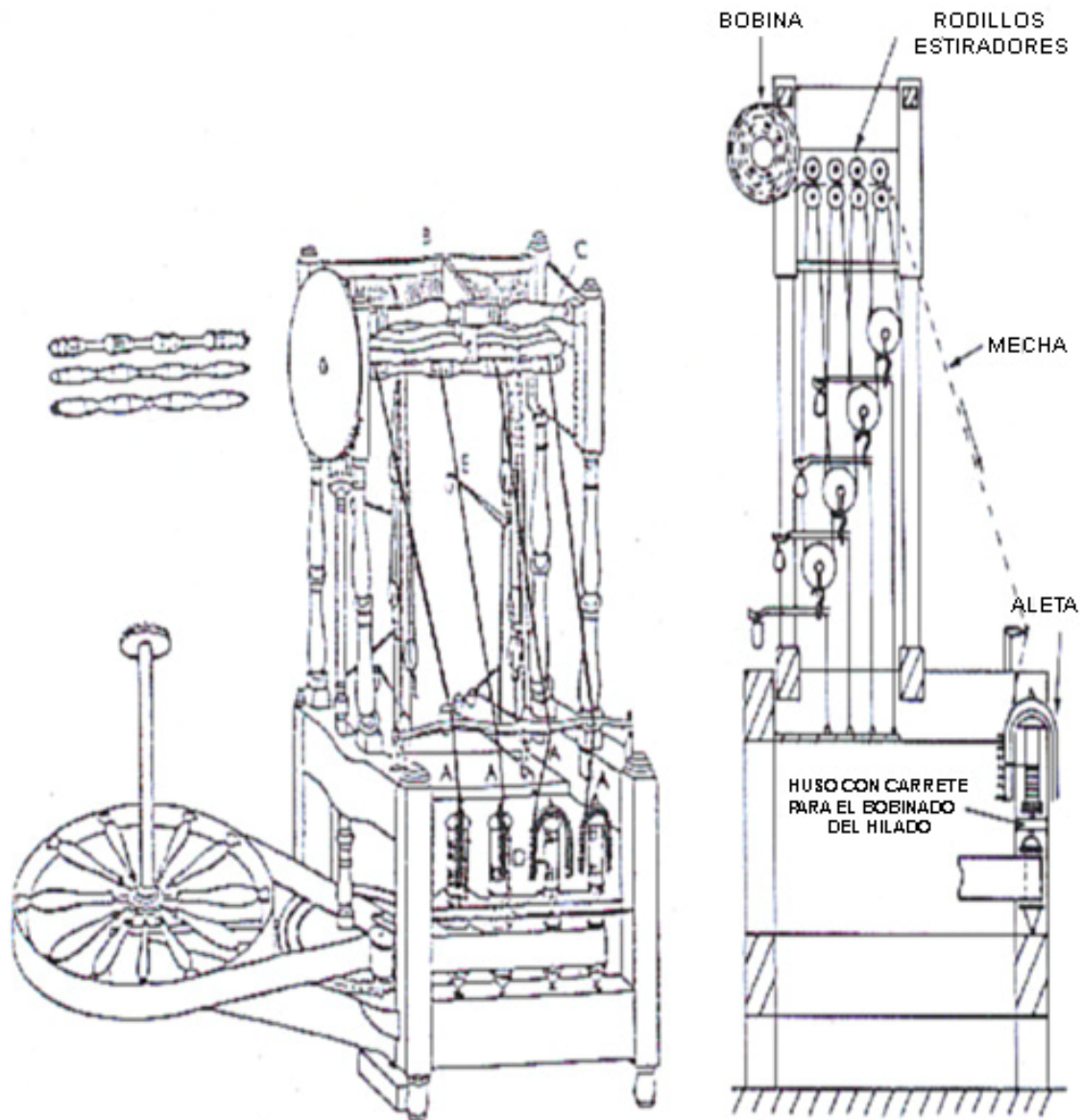


Figura 1.40

El "WATER-FRAME" de Richard Arkwright (1769) (ref.4)

El "Water-Frame"- máquina así llamada porque inicialmente para moverla se utilizó la energía de molinos hidráulicos (si bien luego también la de caballos girando en una noria), constituyó un adelanto notable. Los husos giraban gracias al movimiento transmitido por poleas. De esa forma, el hilado avanza bobinándose en la "canilla" (insertada en el huso), a la vez que tira de la "aleta". Esta al girar inserta torsión a la mecha que avanza. La mecha es atenuada previamente por el pasaje a través de cuatro pares de rodillos de estirado C (ya inventados en 1738 por Lewis Paul y John Wyatt). Por primera vez se lograba **estirar, insertar torsión y bobinar** en forma **continua**. Esta máquina permitía obtener hilados de algodón puro, más fuertes, con más resistencia a la tracción, sin necesidad de mezclar el algodón con lino como se hacía hasta ese entonces (a esta mezcla de algodón con lino se le llamaba "fustán"). Hay quienes afirman que Richard Arkwright, más que un inventor, fue un "combinador" de elementos ya inventados previamente y que plagió a otro inventor llamado Thomas Highs, sin capacidad para los negocios. De todas formas Richard Arkwright fue un gran emprendedor que instaló varias fábricas, utilizando rápidamente la máquina de vapor de James Watt, también recientemente inventada (ver 11.0.0 Apéndice), para mover sus máquinas de hilar. El gran mérito de Arkwright fue, quizás entonces, el de inaugurar el "sistema fabril de producción"

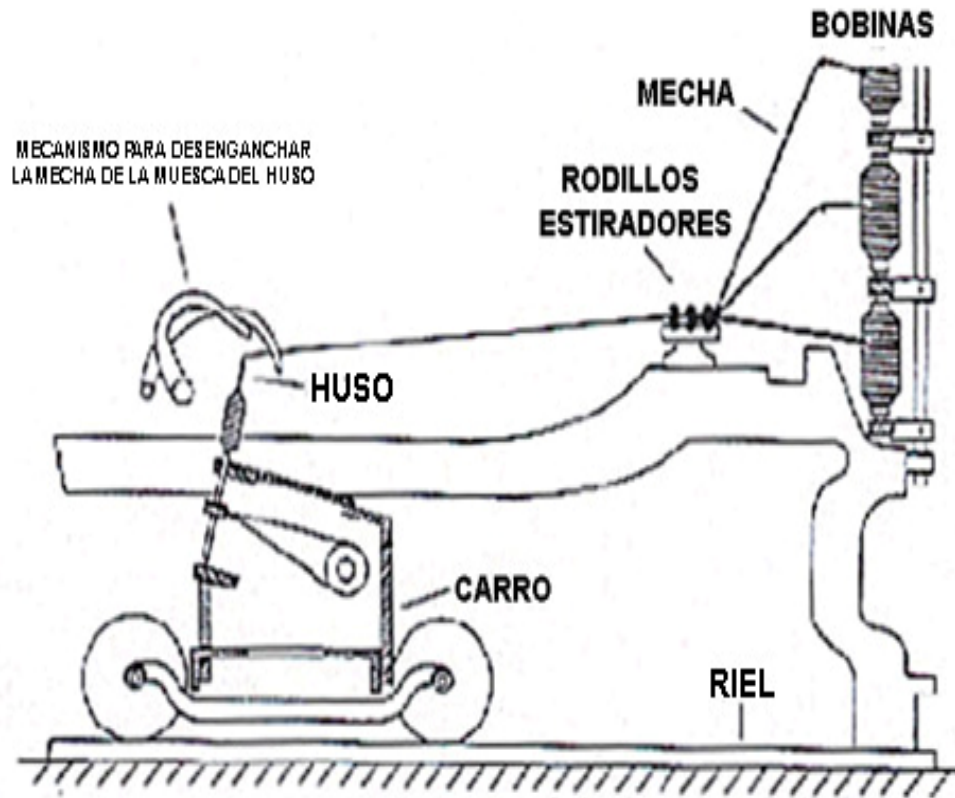


Figura 1.41
"SEFACTINA" (refs. 4).

Esta máquina es una "descendiente" directa de la "Crompton Mule" de Samuel Crompton perfeccionada en 1825 por J.Kennedy y R.Roberts. Las mechas se alimentan al tiempo que el carro se retira. El carro avanza un poco más rápido que la entrega de mecha lo que estira algo las mechas. Los husos, ubicados en el carro con un ángulo de 16° , van girando e insertando torsión al mismo tiempo que se estiran las mechas. Al llegar a los $5/6$ del recorrido se detiene la entrega de mecha y el carro continúa avanzando, estirando mucho más lentamente mientras se sigue insertando torsión. Al final del recorrido los husos giran un poco en sentido contrario, para desenganchar el hilo, y comienza el retorno del carro mientras que los husos bobinan el hilo. El hilado obtenido es de muy buena regularidad.

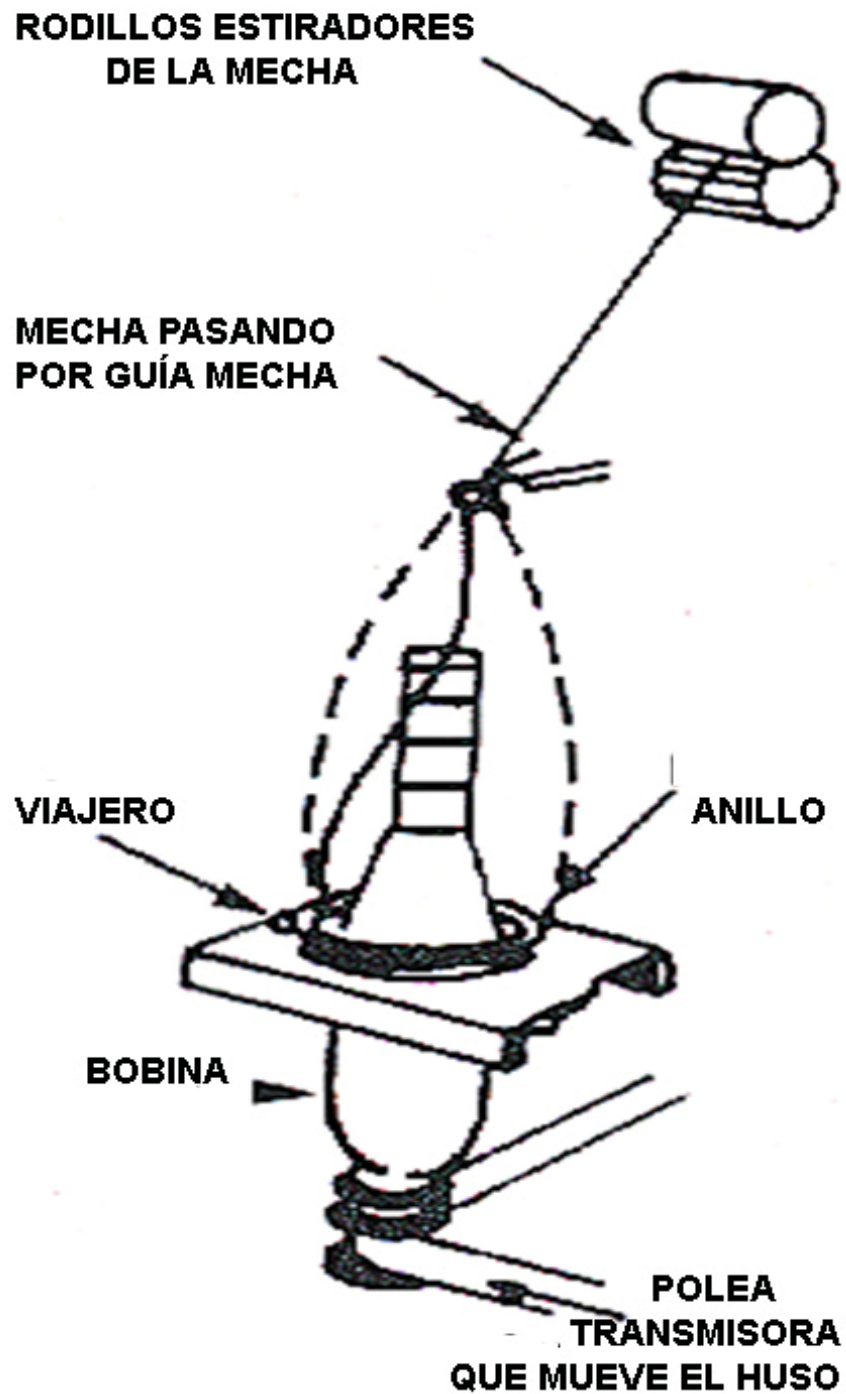
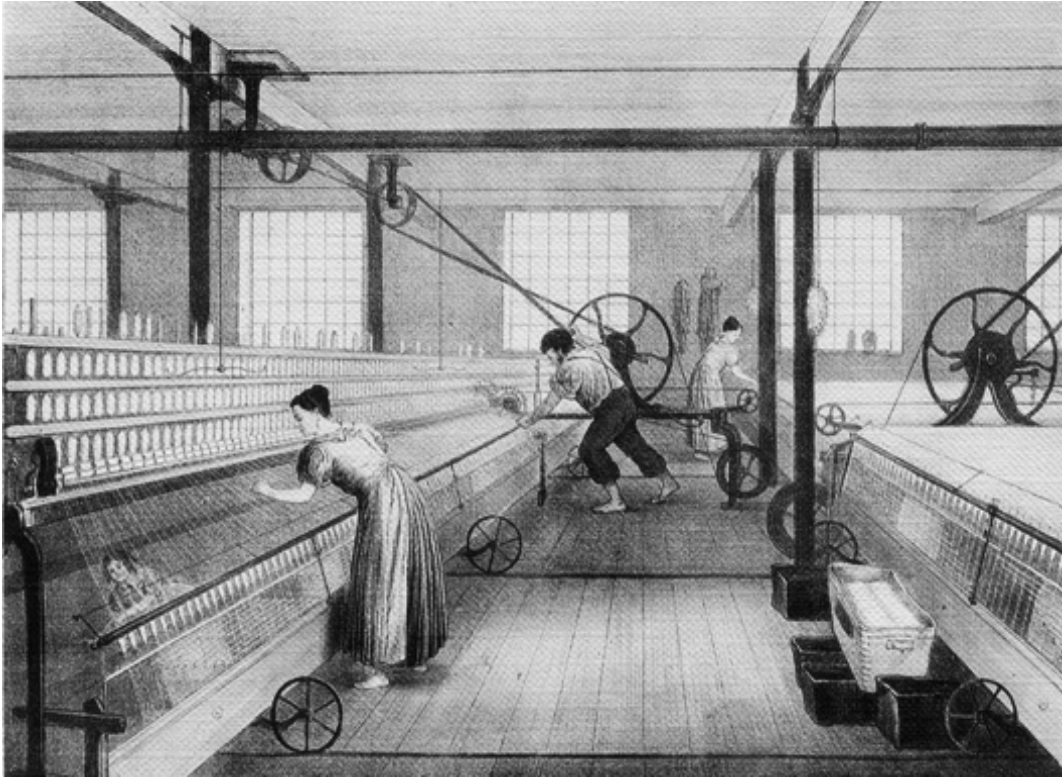


Figura 1.42
HILATURA DE ANILLO (1828)

La mecha es suministrada en forma continua desde los rodillos estiradores y pasa a través del "viajero". El "viajero", que tiene forma de "C", gira en el "anillo" tirado por la mecha. La mecha sigue hacia la bobina que está insertada en el "huso". El huso, al girar continuamente, hace girar al "viajero". El giro del "viajero" va insertando torsión a la mecha: en un sentido hacia la garganta de los rodillos estiradores y en sentido contrario hacia el punto de bobinado.



*Figura 1.43 – Hilando con Selfactina a mediados del siglo XIX
La imagen muestra un niño anudando hilos por debajo del carro de la selfactina,
confirmando la utilización del trabajo infantil en esa época.*



*Figura 1.44
Foto tomada alrededor de 1910 en una hilandería inglesa, en la que aún se empleaba trabajo infantil*

TABLA 1.3
CARACTERÍSTICAS DEL "SISTEMA DE PRODUCCIÓN FABRIL" QUE APARECE EN EUROPA A FINES DEL SIGLO XVIII (*)

<i>1- USO DE MÁQUINAS</i>
<i>2 -PRODUCCIÓN EN MASA.</i>
<i>3- MAYOR PRODUCTIVIDAD (mayor velocidad y economía en la producción).</i>
<i>4- CONCENTRACIÓN DE LAS FUERZAS DE TRABAJO BAJO UN MISMO TECHO.</i>
<i>5- UTILIZACIÓN DE ENERGÍA DISTRIBUIDA DESDE UNA O MÁS FUENTES CENTRALES.</i>
<i>6- DIVISIÓN ORGANIZADA DEL TRABAJO.</i>
<i>7- SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE TODO LOS PROCESOS PRODUCTIVOS.</i>
<i>8- UTILIZACIÓN DE CAPITAL ACUMULADO.</i>

(*) En la Inglaterra de fines del siglo XVIII, la actividad textil es la primera en adoptar el "Sistema de Producción Fabril". Este sistema adquiere tal importancia y extensión que da lugar al inicio de una nueva etapa para la Humanidad. A este período histórico se le conoce con el nombre de "Revolución Industrial".

TABLA 1.4
LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

1- SISTEMA DE PRODUCCIÓN PRE-INDUSTRIAL (hasta 1750, aproximadamente)	
PRODUCCIÓN RURAL:	Artesanal y familiar en máquinas chicas (ruedas y telares). Las familias campesinas hilan y tejen lino y lana .
PRODUCCIÓN URBANA:	Talleres de tejido, batanado, teñido, etc., organizados en corporaciones.
2- SISTEMA DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL (de 1750, aproximadamente, en adelante)	
PRODUCCIÓN RURAL:	Aparecen pequeñas unidades productoras. Se ubican a la orilla de ríos y arroyos para utilizar la energía hidráulica de éstos.
PRODUCCIÓN URBANA:	A partir aproximadamente de 1800, aumenta el número de empresas que utilizan las primeras máquinas de vapor y el "Sistema de Producción Fabril" se consolida con carácter netamente urbano. El algodón , importado de Oriente primero y luego también de América, se convierte en la fibra predominante.

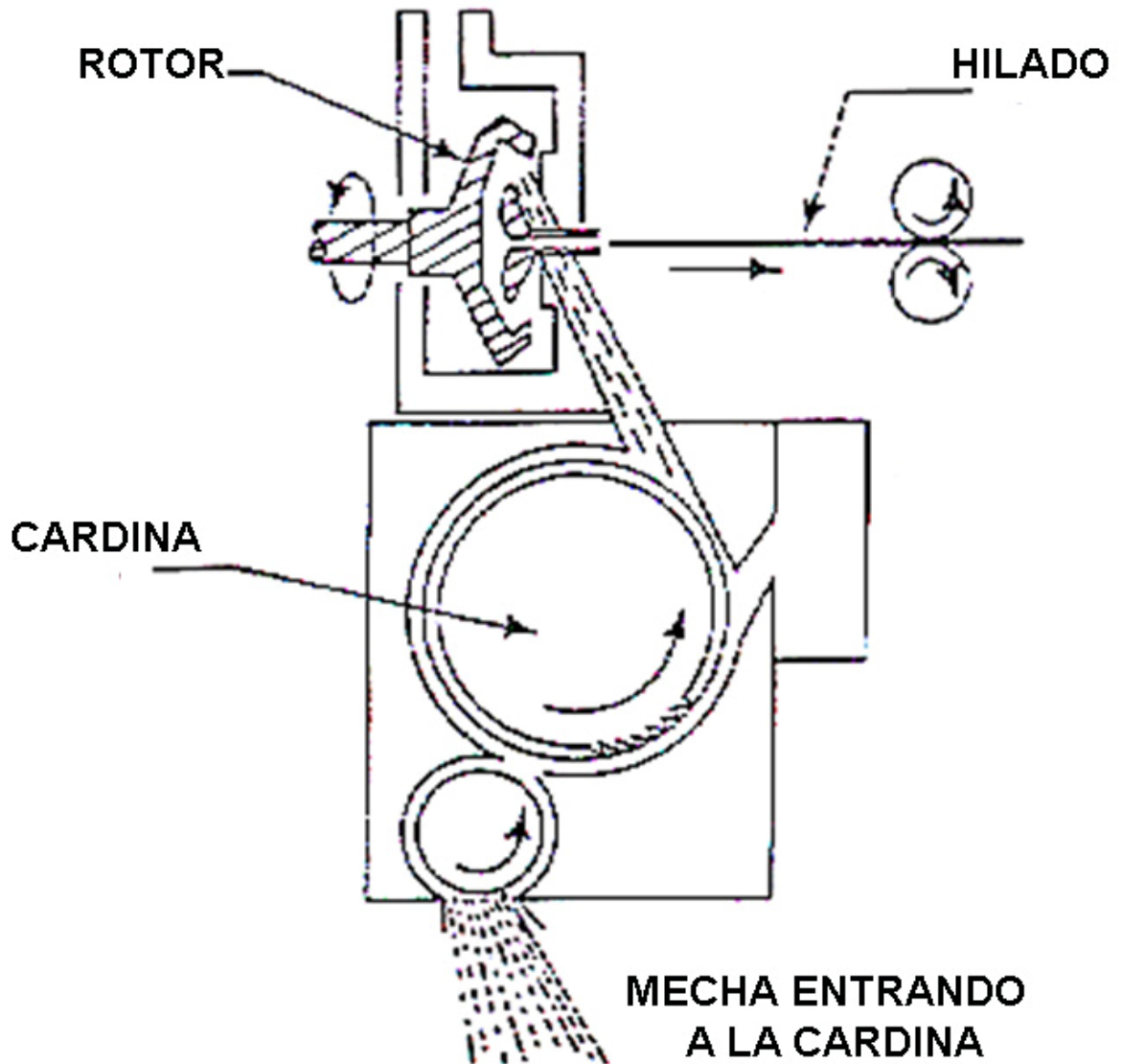


Figura 1.45
HILATURA "OPEN END" (1967).

La mecha (*sliver*), proveniente de los "manuales" de estirado, es tomada por la "cardina" (*combing wheel*) donde las fibras son separadas individualmente. Las fibras separadas van cayendo en la "garganta" del rotor, donde reciben torsión desde adentro hacia afuera, es decir desde el "núcleo" hacia la "vaina" de la mecha. El hilado sale finalmente del rotor en forma axial.

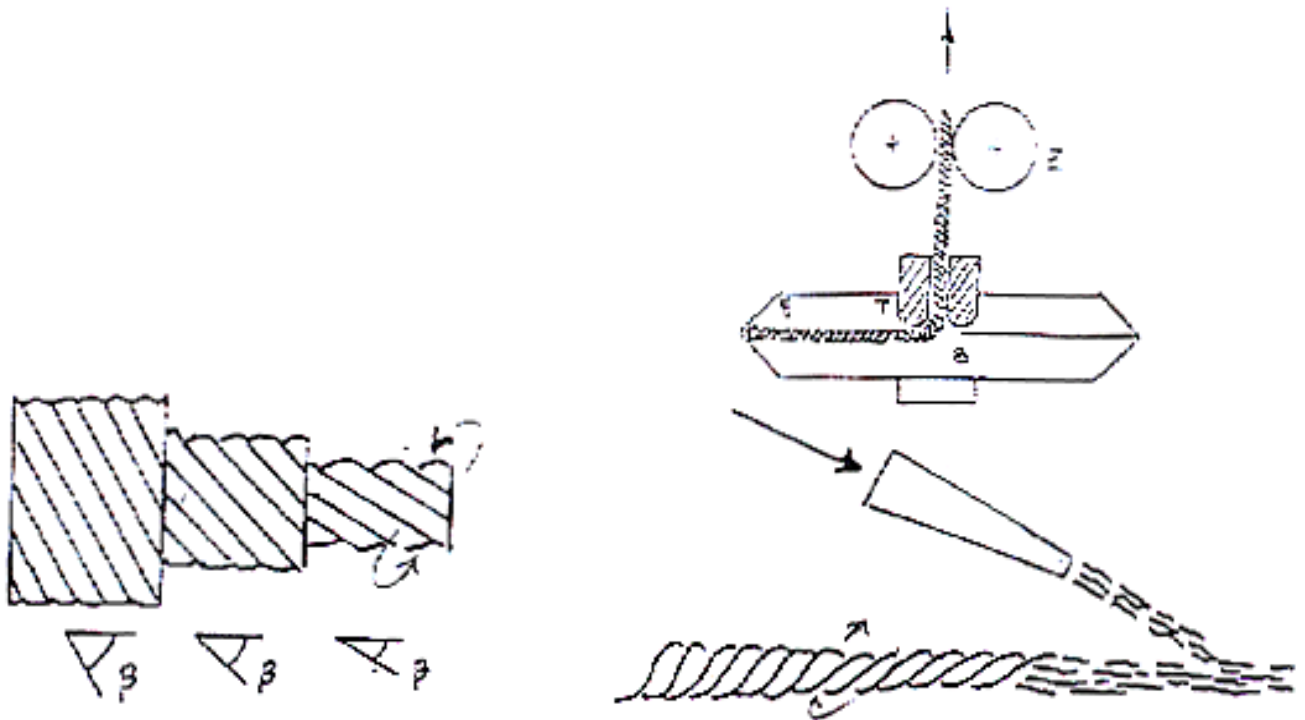


Figura 1.46

DIFERENCIAS ENTRE LA HILATURA DE ANILLO Y LA "DE CABO ABIERTO"

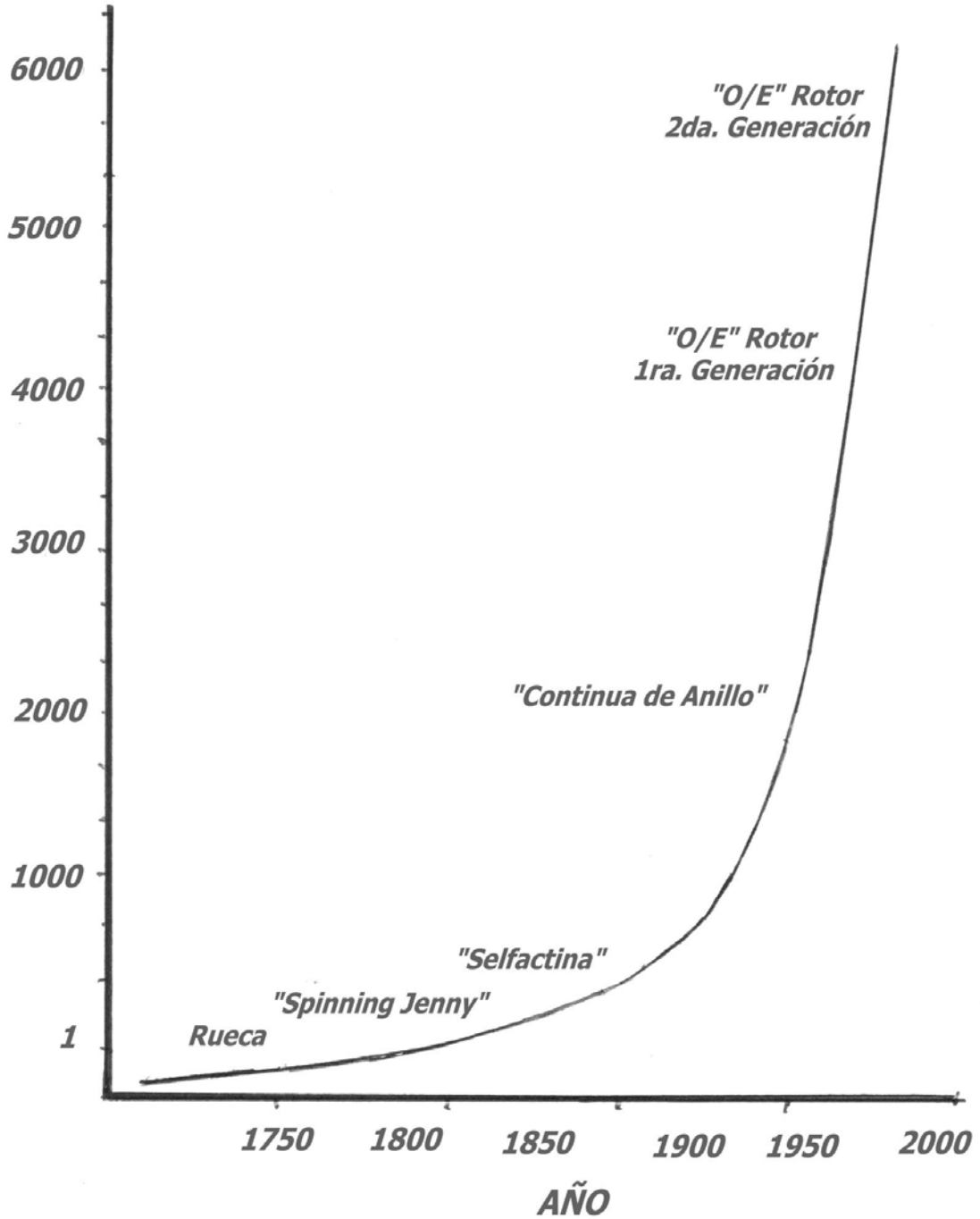
HILADO DE CONTINUA DE ANILLO

- * La torsión se inserta de afuera hacia adentro
- * La torsión es mayor en la "vainas" que en el "núcleo"
- * El hilado tiene menor resistencia a la **abrasión**: si se rompen las fibras de la "vainas" el hilado pierde resistencia a la tracción
- * El hilad/S recibe mayoritariamente torsión "verdadera".

HILADO "OPEN-END"

- * La torsión se inserta de adentro hacia fuera
- * La "vainas" tiene menos torsión que el "núcleo"
- * El hilado tiene mayor resistencia a la abrasión pues las fibras del "núcleo" son las que tienen más torsión y resisten más.
- * El hilado O/E presenta una mezcla de torsión "verdadera" y "falsa": las primeras fibras al entrar al rotor reciben "falsa" torsión (*formarán el "núcleo" del hilado*). Las fibras mas largas, un poco antes de salir el hilado, reciben torsión "verdadera" y, formarán la vaina del hilado actuando como envolventes.

**PRODUCTIVIDAD
RELATIVA**



EVOLUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA HILATURA

5.0.0- LA ELABORACIÓN DE TELAS A PARTIR DE HILADOS

5.1.0- LOS TELARES PRIMITIVOS

Los primeros telares de los que se valió el hombre del neolítico para elaborar sus telas fueron, muy probablemente, los “telares de cintura” (5000 a.C.). En esos telares se atan los extremos de los hilos de urdimbre a un árbol y los otros extremos a la cintura del tejedor, quien luego va insertando la trama. Otros telares primitivos son los “telares en arco” o “en U” en el que los hilos de urdimbre se tensan entre los brazos de la U.

Los **telares verticales**, con la urdimbre colgada y estirada con contrapesos fueron un gran avance: la urdimbre se enrollaba abajo y la tela, a medida que se tejía, arriba. También los **telares horizontales** - elevados a cierta altura del piso de tal forma que el tejedor pudiera trabajar sentado y manejar la apertura de la calada, elevando y bajando los “lizados” por medio de **pedales**, fueron un gran adelanto. Ambos tipos de telares empiezan a difundirse, aproximadamente, hacia fines de la Antigüedad y comienzos de la Edad Media. Todos ellos permiten tejer solo cantidades relativamente pequeñas de tela y, aún hoy, son utilizados por tejedores artesanales (ver Figuras 1.48 a 1.51).

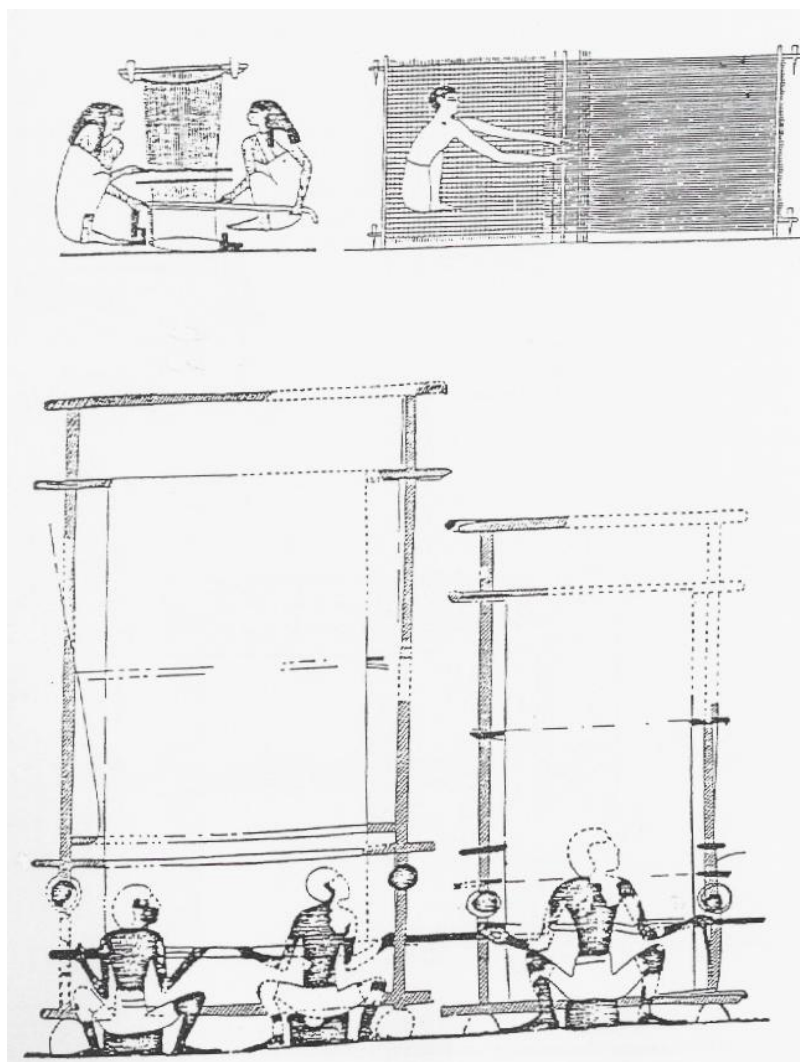


Figura 1.48
Telares egipcios, horizontales y verticales. 1500-1900 a.C. (ref. 3)

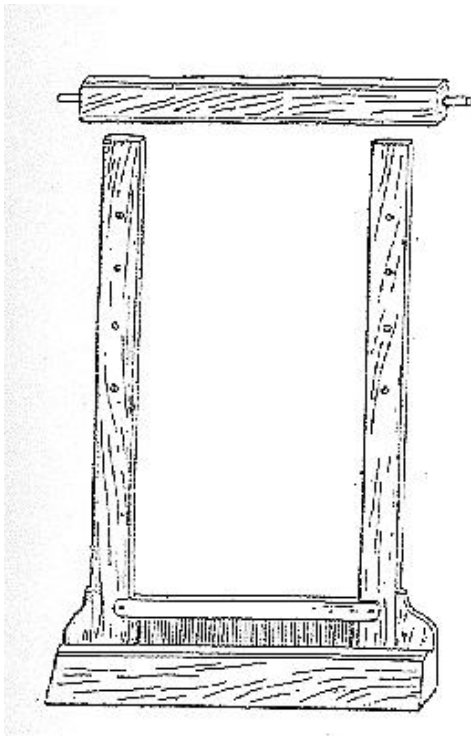


Figura 1.49
Batán y peine. Telar horizontal

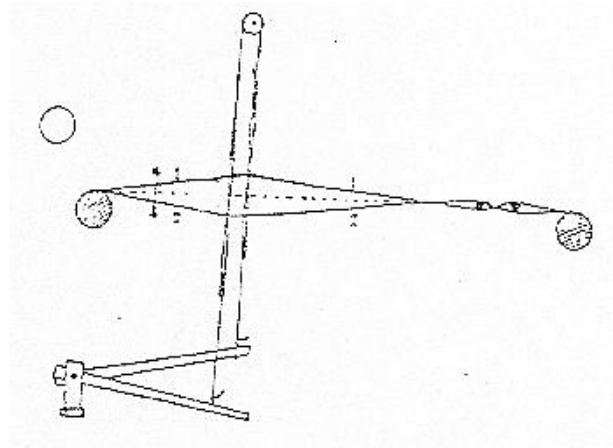


Figura 1.50
Esquema de la apertura de la "calada"

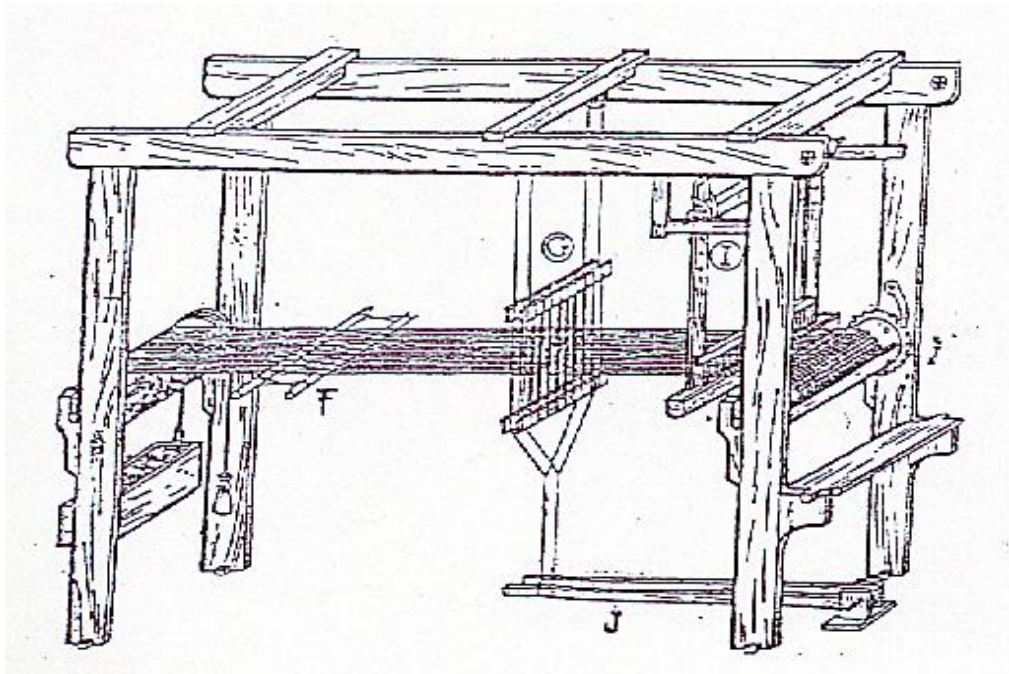


Figura 1.51
Telar manual o "artesanal", horizontal, utilizado ya hacia fines de la Antigüedad y comienzos de la Edad Media. Sus elementos básicos: (F) "cruz" para mantener separados los hilos de urdimbre, (G) dos "cuadros" o "lizados", (I) "batán" y "peine", (J) pedales para elevar y bajar alternativamente los "cuadros" o "lizados" y abrir la calada. A la izquierda el rollo de urdimbre, a la derecha la cabecera del telar con el asiento para el tejedor (ref. 3).

5.2.0- LOS TELARES DE TIRANTES

Como ya lo señaláramos los tejidos planos de seda, con hermosos y complicados diseños, se producían desde antiguo en Oriente y ya en la Edad Media eran ya extremadamente apreciados en Europa. Pronto se trató de imitarlos, especialmente en aquellas regiones donde existían poderosos centros sederos, como el norte de Italia y en la región de Lyon, en Francia.

Para tejer una tela plana con diseños complicados es necesario emplear muchos "lizados" o "cuadros". Pero no es posible, usando solo pedales, abrir la *calada* levantando el peso de una gran cantidad de "lizados". Entonces se utilizaba un sistema de poleas manejado por un ayudante del tejedor. Este ayudante ("*draw boy*") se ubicaba al costado del telar y tiraba de cordeles con contrapesos, que levantaban los "lizados" o "cuadros" ordenadamente, según instrucciones escritas del tejedor (ver *Figura 1.52 y 1.53*). Estos telares se conocieron entonces como **telares de tirantes** ("*drawn looms*").

Para evitar errores humanos, se trató de "automatizar" de alguna manera a esos telares *de tirantes*. Con esa finalidad **Basile Bouchón** - hijo de un fabricante de órganos y el mismo vinculado a la industria textil sedera de Lion - desarrolló en 1725 un ingenioso mecanismo (ver *Figura 1.54*) que luego fue perfeccionado por **Jean Baptiste Falcon** en 1728 y por **Jacques Vaucanson** en 1745. Estos desarrollos fueron los antecedentes del telar que, en 1801, inventaría **Jean Marie Jacquard**. El telar creado por Jacquard permite controlar cada uno de los hilos de urdimbre y de esa manera elaborar todo tipo de complejos diseños, como figuras humanas, flores, animales, etc. Ejemplos de telas hechas en telares Jacquard son los "brocados" y "damascos" (ver *Sección 5.6.0*).

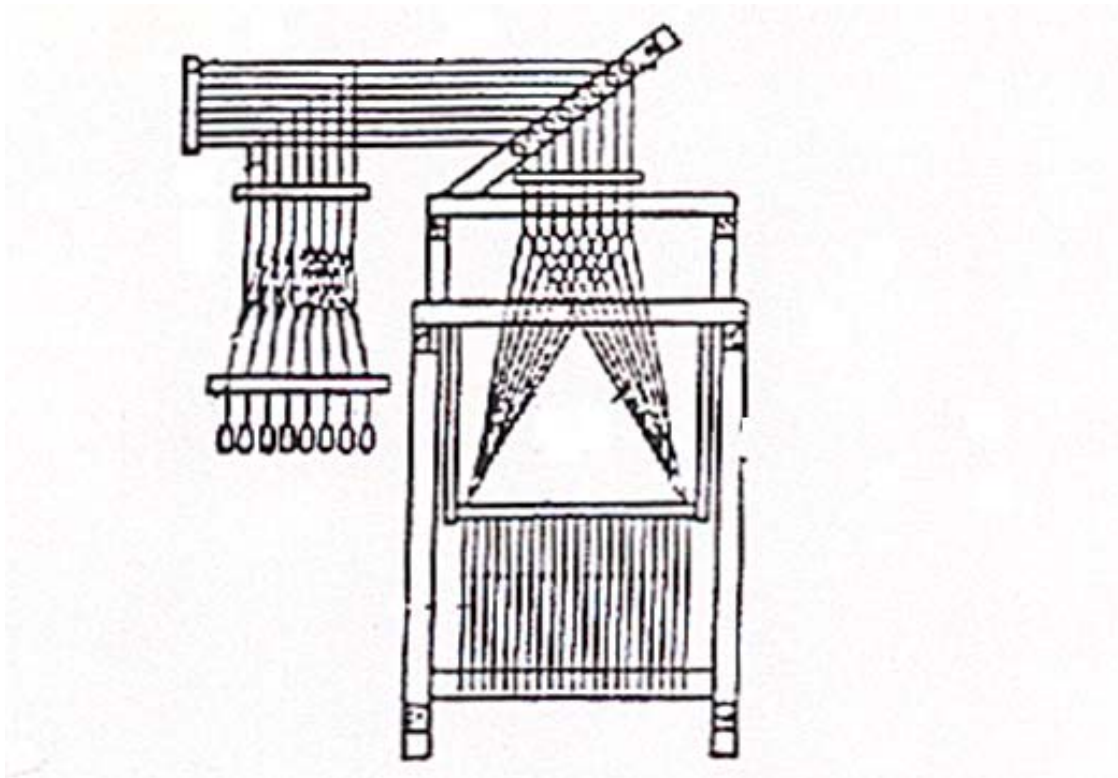


Figura 1.52
El telar de "tirantes" (refs.4 y 6)

Un ayudante del tejedor tiraba de los cordeles para levantar los hilos de urdimbre, ordenadamente, de acuerdo al diseño que se quería obtener.

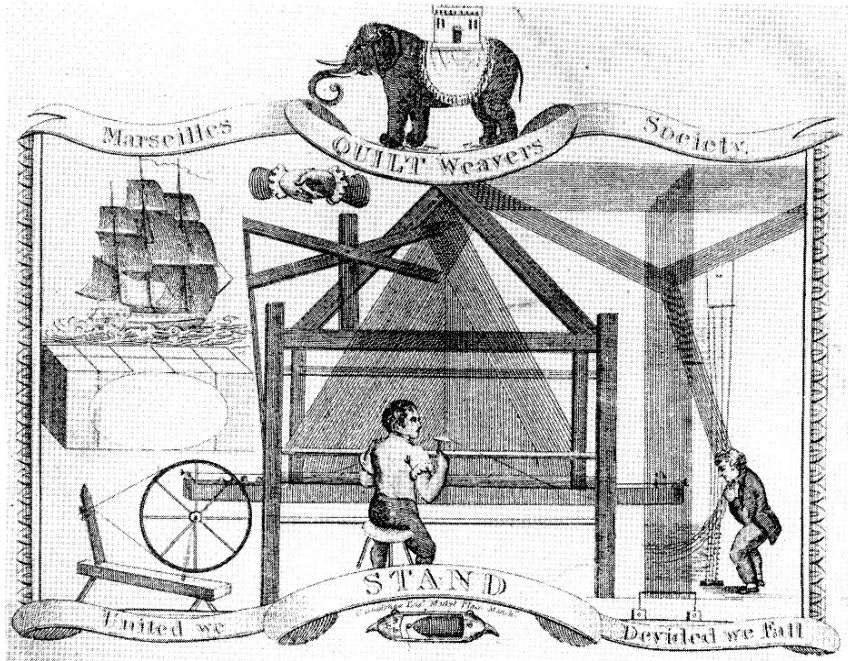


Figura 1.53 – Tarjeta de la Sociedad de Tejedores de Marsella (alrededor de 1825) donde se puede apreciar claramente los mecanismos de un telar de tirantes, el tejedor y el “draw boy”

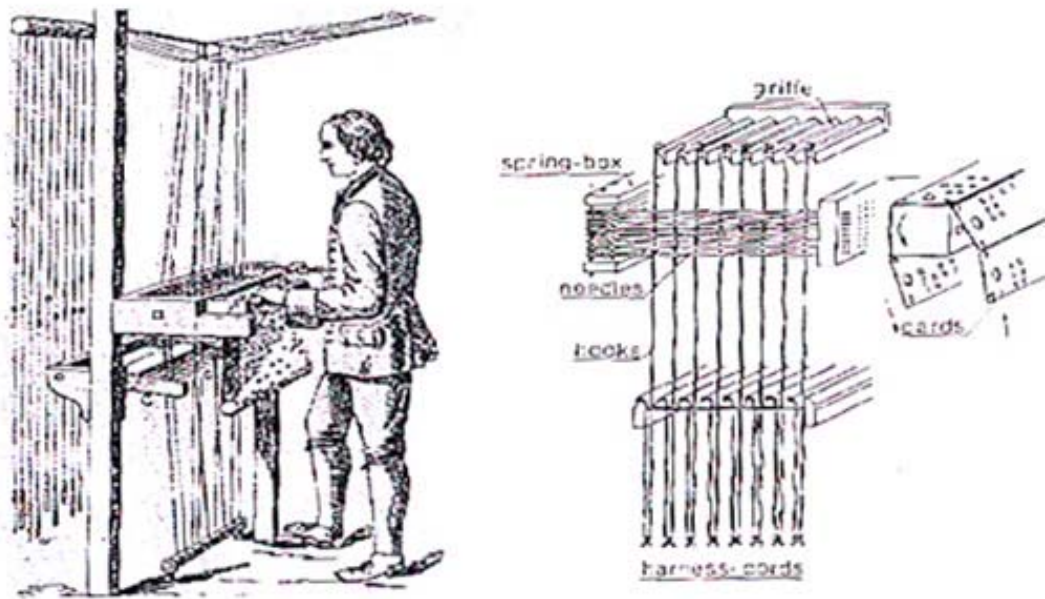


Figura 1.54.

El telar de Bouchon (refs.4 y 6).

Es uno de los más ingeniosos antecesores del telar Jacquard. Utilizaba un rollo de papel grueso con perforaciones. Presionando el papel sobre la hilera de la caja D, las agujas que no encontraban una perforación eran desplazadas y tiraban hacia adelante una cuerda vertical. El tejedor, bajando un pedal, hacía que un peine enganchara estas cuerdas las que eran tiradas hacia abajo. Estas cuerdas al ser tiradas hacia abajo bajaban también las cuerdas horizontales colocadas por encima y mantenidas tensas con contrapesos. A su vez, estas cuerdas horizontales al bajar, tiraban hacia arriba los correspondientes hilos de urdimbre del telar, colocado atrás y que no aparece en la figura. Se movía luego el papel para enfrentar a la siguiente fila de perforaciones que correspondían a la nueva apertura de calada. Tres años más tarde, su asistente *Jean-Baptiste Falcon*, aumentó la cantidad de cuerdas y cambió el rollo de papel por cartones. Diecisiete años más tarde *Jacques Vaucanson* introdujo automatismos que mejoraron el diseño. Recién en 1801 *Jean Marie Jacquard*, basado en estos trabajos previos, desarrolló un telar comercialmente exitoso.

5.3.0- LA PRIMERA MÁQUINA DE TEJIDO DE PUNTO

Otra invención extraordinaria fue la máquina de tejer calcetines o "*stocking machine*," desarrollada por el inglés **William Lee** en el año 1589 (ver Fig.1.55). Esta máquina fue creada unos **doscientos años antes de la Revolución Industrial** y era absolutamente novedosa pues, no se obtuvo por cambios o mejoras de otras máquinas ya existentes. No es difícil imaginar las dificultades constructivas que debió vencer **William Lee**, ya que la producción de las agujas y de las platinas de la máquina, piezas muy pequeñas y de alta precisión, le debe haber exigido sin duda la aplicación de los mejores conocimientos del momento, que en esa época eran manejados, probablemente, solo por artesanos relojeros. Se dice que las autoridades disuadieron a **William Lee**, que era párroco de Calverton, Nottinghamshire, de que siguiera perfeccionando su invento y que a consecuencia de ello tuvo que emigrar a París donde murió pobre.

De todos modos, gracias a este invento la producción de calcetería de punto, en Inglaterra a fines del siglo XVI, se transformó en una actividad muy importante que ocupaba a muchos trabajadores, especialmente en los hogares rurales, que exportaba sus excedentes al continente. Con la máquina de **William Lee** se pudo tejer en forma más barata y más rápida que con las tradicionales técnicas artesanales. Su diseño básico se mantuvo inalterado durante casi 150 años y aún hoy, más de 400 años después, sigue siendo utilizado. A partir de ella la tejeduría de punto se desarrolló sin cesar y es hoy una importantísima rama textil que permite la producción de una variada y atractiva gama de artículos (ref. 12).

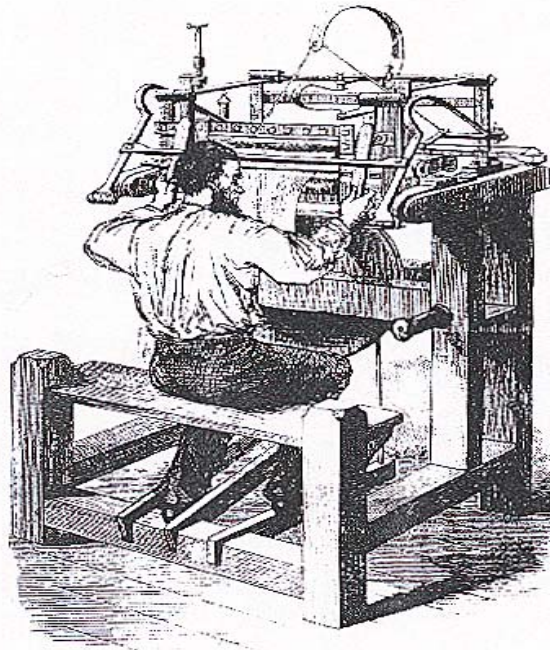


Figura 1.55

LA MÁQUINA TEJEDORA DE PUNTO DE WILLIAM LEE (1590) (ref.12)

El tejido "de punto" a diferencia del tejido "plano" se puede tejer con un solo hilo enlazado consigo mismo. Se obtiene una tela elástica que se adapta fácilmente al cuerpo humano. Para la elaboración de muchos artículos, el tejido de punto es más económico, pues no es necesario "urdir" ni "encolar" como ocurre con el "plano" o de "lanzadera".

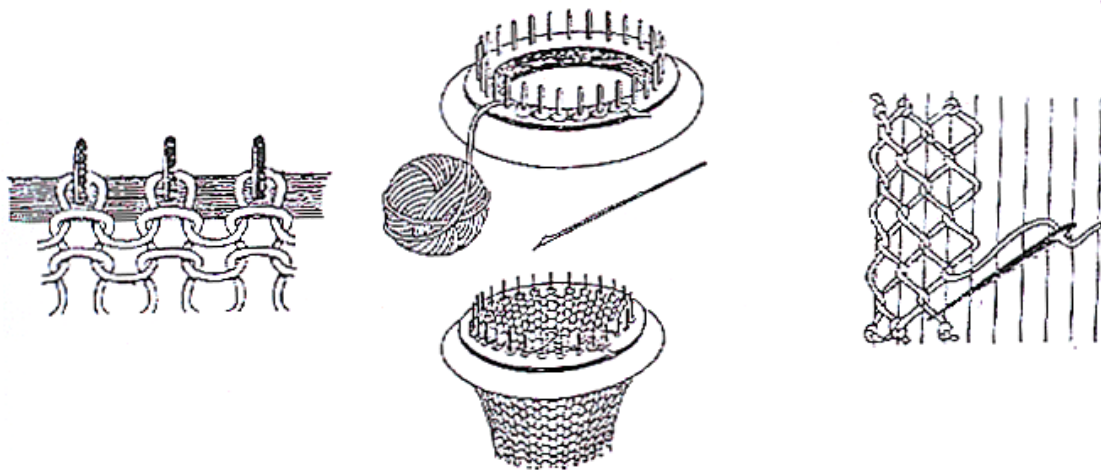


Figura 1.56
Diversas formas de elaborar tejidos de punto

5.4.0- EL TELAR DE JOHN KAY

Es interesante señalar que los ingeniosos mecanismos de **apertura de calada** que se comentaron en la Sección 9, se desarrollaron principalmente en Francia, donde había una importante industria sedera para mercados restringidos y donde era muy importante la producción de diseños complejos y delicados. En Inglaterra y Holanda, en cambio, el interés estaba más orientado hacia los mecanismos de **proyección de la "lanzadera"** en telares anchos, para alcanzar así altas producciones para un mercado en expansión que incluía a sus colonias. El pasaje manual de la lanzadera, realizado por un solo tejedor, exigía obviamente que el telar no fuera más ancho que el alcance de los brazos extendidos del tejedor. La producción era entonces muy baja debido, primero, a la lentitud de inserción manual de trama y, segundo, al poco ancho de las telas que se obtenían. La producción en telares más anchos requería que **dos operarios**, uno a cada lado del telar, se pasaran la lanzadera alternativamente. La velocidad de inserción de trama y por tanto la producción, continuaba siendo muy baja (*ver Figura 1.57*). Un intento de mejora fue un telar holandés que tejía simultáneamente de 4 a 6 cintas angostas con otras tantas lanzaderas. El movimiento de las lanzaderas se operaba manualmente con una agarradera que las corría a todas juntas. Sin embargo, el gran paso adelante fue dado en 1733 con la sencilla y genial idea del inglés **John Kay**, décimo segundo hijo de un comerciante de lana de Bury, Lancashire. La novedad consistió en impulsar una lanzadera con rueditas por la pista del batán, golpeándola de ambos lados del telar con topes forrados de cuero. Estos topes, que también se movían en la pista del batán, eran impulsados por el tejedor, desde cada lado del telar, tirando alternativamente de una cuerda (*ver Figura 1.58*). El gran mérito de la "**lanzadera volante**" de **John Kay** fue que permitió que un solo operario, sentado cómodamente en el centro de la cabecera del telar, pudiera tejer telas anchas, evitando posturas incómodas que tradicionalmente habían provocado problemas de salud característicos de la profesión de tejedor. Sin embargo, este telar no fue bien recibido por algunos que temían que la innovación los dejara sin trabajo. Años después, una turba penetró en su casa y destruyó el nuevo telar. El resto de la vida del inventor estuvo plagada de sinsabores ya que debió litigar continuamente, pues el gobierno inglés no protegió su invención y esta tardó muchos años en aceptarse (*y al principio solo por los tejedores de algodón*). Finalmente, en 1747, **John Kay** emigró a Francia donde murió años después, pobre y sin que se reconocieran sus méritos. Su hijo, **Robert Kay**, fue también un gran inventor que perfeccionó el telar de su padre creando un mecanismo, el

“*drop box*”, para el cambio de lanzaderas con hilados de distintos colores (ref. 4). Estos avances abrieron el camino a los futuros telares mecánicos que comenzarían a desarrollarse a partir de 1787, con el telar de Edmund Cartwright.

Aún antes de que **John Kay** creara su revolucionario telar, era evidente que la producción de hilado no alcanzaba para abastecer a los tejedores en forma regular y satisfacer así la demanda creciente de telas. Era absolutamente necesario aumentar la oferta de hilado (Sección 4.6.0). Se estaba, entonces, en los umbrales de grandes e importantes **cambios tecnológicos** que devendrían también en grandes e importantes **cambios sociales**. O quizás, como también podría afirmarse, *mutatis mutandi*, que grandes e importantes cambios sociales devendrían en grandes e importantes cambios tecnológicos

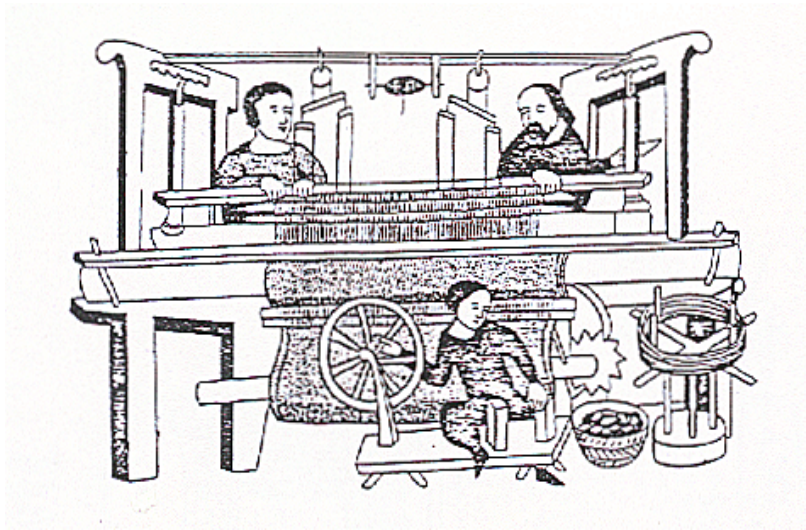


Figura 1.57

Antes del invento de John Kay los telares de lanzadera para telas anchas necesitaban dos tejedores y la producción era más lenta (refs.3 y 6)

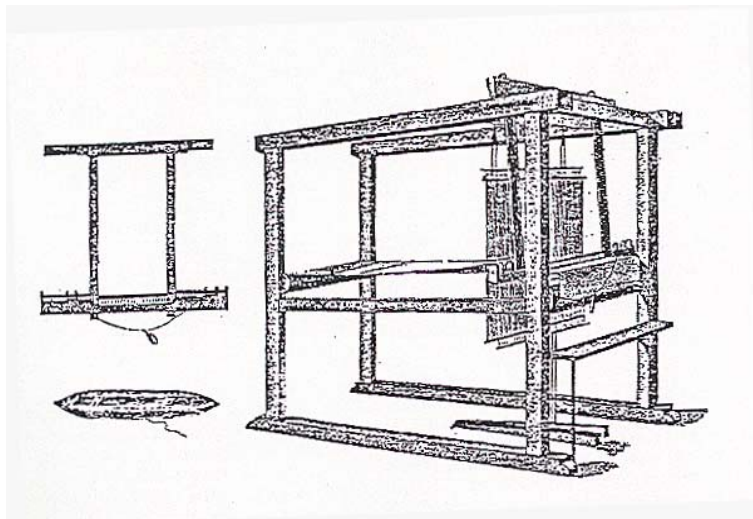


Figura 1.58

Telar de John Kay con detalles del batán y cuerda impulsora de la lanzadera (ref. 4,5 y 9)

5.5.0- LOS TELARES MECÁNICOS

Hacia fines del siglo XVIII el continuo aumento de población en Europa demandaba cada vez más producción de telas. El "cuello de botella" que antes de los inventos de **Hargreaves**, **Arkwright** y **Crompton** estaba en la producción de hilado, ahora se había desplazado a la tejeduría. Hasta entonces, los seis movimientos básicos de un telar (*ver Tabla 1.6*) eran realizados por el operario tejedor, que para ello se valía de sus manos y pies. No resultaba fácil mecanizar dichos movimientos pero, en 1784, **Edmund Cartwright** vicario rural y erudito hizo el primer intento. El telar de **Edmund Cartwright** no resultó muy satisfactorio: era de madera y tenía un único eje, que recibía la fuerza motriz y transmitía el movimiento a todas las piezas. Los movimientos eran muy bruscos y la eficiencia baja (*ver Figura 1.59*). Esos primeros telares también fueron destruidos por turbas de tejedores desesperados por la posible competencia ruinosa que estas máquinas podían hacerles. Sin embargo, el gran mérito de **Cartwright** fue demostrar que era posible construir un telar mecánico y poco a poco estos fueron mejorando.

En 1820 **Richard Robert** creó el primer telar mecánico exitoso (*ver Figura 1.60*). Tenía dos ejes, uno para mover el "batán" y otro para impulsar la "lanzadera". El "batán" era movido desde abajo, según la innovación introducida previamente por **Almond** (*ver Figura 1.61*) y el hierro había sustituido a la madera como material constructivo. En los primeros telares mecánicos la proyección de la lanzadera se lograba por los golpes de una barra por debajo del telar que, con un movimiento similar al de un "limpia-parabrisas", impulsaba la lanzadera (*ver Figura 1.62*). Posteriormente esta pieza se sustituyó por "garrotes" que, sujetos bajo tensión a cada lado del telar, eran liberadas para golpear e impulsar alternadamente a la lanzadera. Este mecanismo tampoco es muy eficiente pues, para disminuir el efecto de rebote, la lanzadera debe ser de alto peso. Se consume mucha energía en esta operación y hay un gran desgaste de todas las piezas (*refs. 4, 5 y 6*).

TABLA 1.5
ACCIONES BÁSICAS DE UN TELAR PLANO

1- APERTURA DE LA CALADA
2- INSERCIÓN DEL HILO DE TRAMA
3- BATANADO DEL HILO DE TRAMA
4- MANTENIMIENTO DE LA TELA ESTIRADA
5- ENROLLADO DE LA TELA TEJIDA
6- DETENCIÓN DEL TELAR CUANDO SE ROMPE UN HILO DE TRAMA O DE URDIMBRE

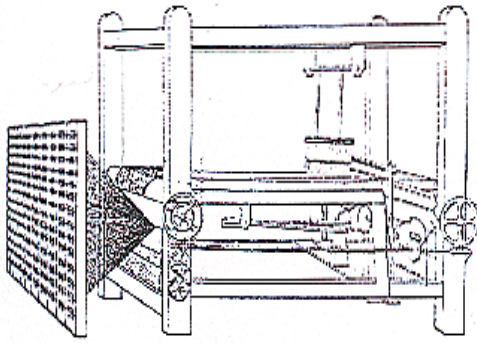


Figura 1.59
El telar de Edmund Cartwright (1786).
incluía todos las acciones básicas del tejido plano
Aunque muy complicado y defectuoso, actuó de
catalizador para los desarrollos siguientes (refs. 4 y 6).

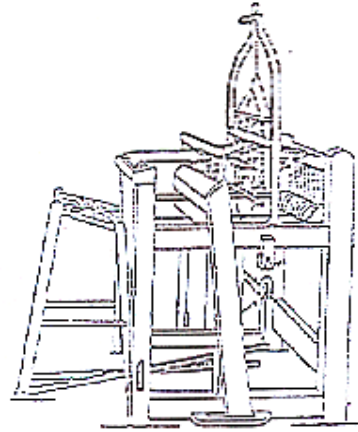


Figura 1.60
El telar de Almond incorpora el batán
accionado desde abajo (ref. 4).

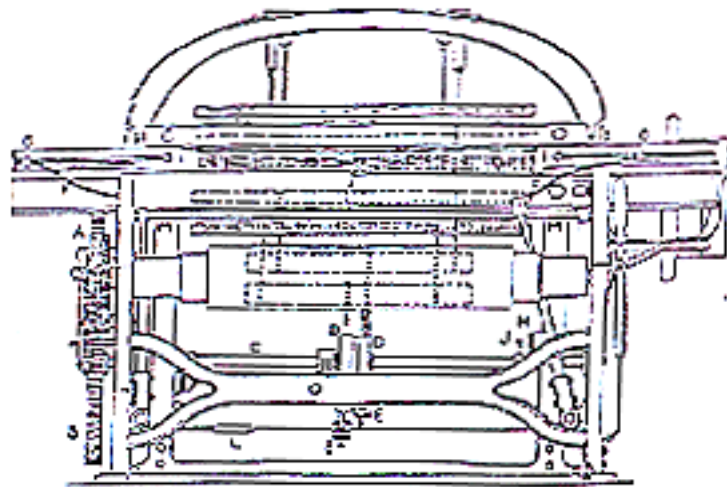


Figura 1.61
El telar de Roberts fue el primer telar mecánico exitoso. Eran accionado por poleas que transmitían el
movimiento de ejes centrales. Estos, a su vez, eran movidos por máquinas a vapor (refs. 4 y 6).

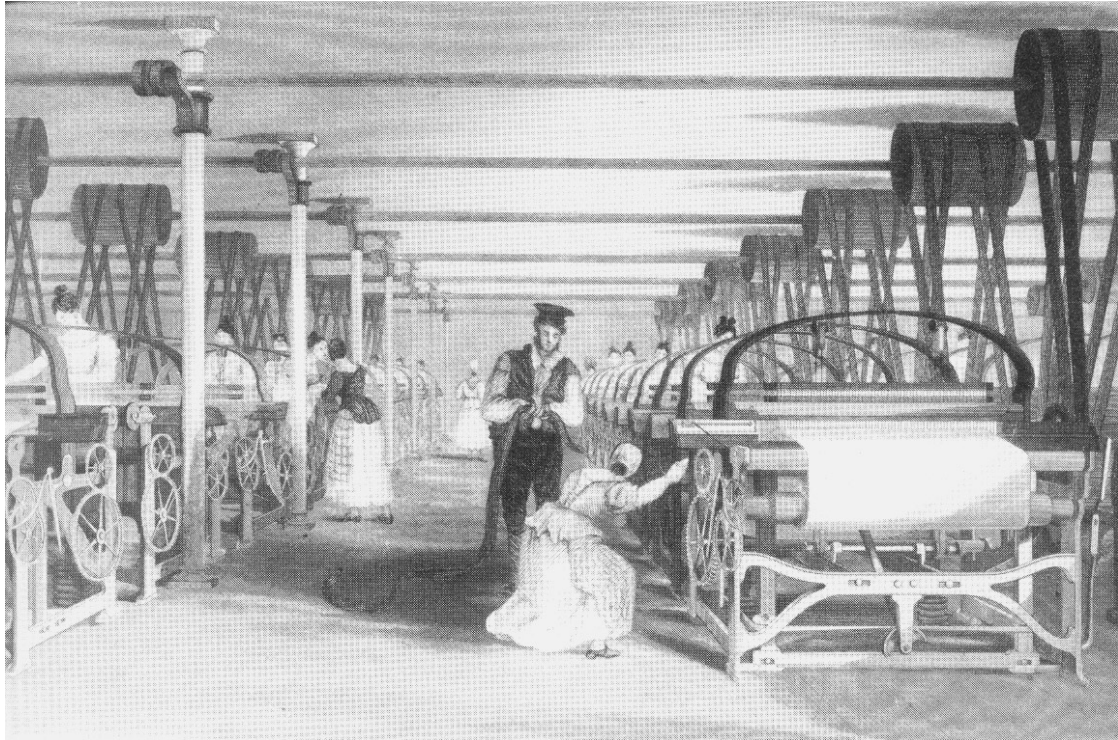


Figura 1.62

Taller de telares mecánicos accionados por poleas y ejes elevados (siglo XIX). Los ejes elevados eran accionados por una máquina de vapor. Notar el listón que, por debajo del telar y con un movimiento de limpiaparabrisas, accionaba la lanzadera.

5.6.0- EL TELAR JACQUARD

En el siglo XVIII la tejeduría era un proceso tedioso que insumía mucho tiempo y las ganancias que obtenían los tejedores eran escasas. Como ya se mencionó (*Secc. 5.2.0*) para hacer diseños complicados, era necesario que un ayudante tirara de cuerdas para levantar las diversas combinaciones de hilos de urdimbre y abrir la calada. Tratando de resolver estos problemas fue que **Joseph-Marie Jacquard**, que había nacido en Lyons - en 1752, en el seno de una familia de tejedores de seda - desarrolló un telar mecánico que podía tejer diseños complejos a partir de la información almacenada en tarjetas perforadas. Estaba basado en el telar inventado previamente por **Basile Bouchon** en 1725 y perfeccionado luego por **Jean Baptiste Falcon** en 1728 y **Jacques Vaucanson** en 1740.

El invento consistió, en realidad, en un mecanismo de apertura de la calada que se podía colocar sobre un telar preexistente. Este mecanismo utiliza cartones perforados que, uno a uno, se les puede hacer tomar contacto con un conjunto de agujas. Aquellas agujas que coinciden con un orificio en la tarjeta de cartón pasan a través sin moverse. Las que **no** encuentran un orificio son empujadas por el cartón y se desplazan hacia atrás sacando de posición unos ganchos. Los ganchos que no han sido sacados de posición, son levantados por un marco que baja y sube alternativamente en cada apertura de la calada. De esa forma los ganchos no desplazados levantan y bajan hilos de urdimbre, en forma individual. Cada gancho puede manejar varios hilos y de esa manera se pueden tejer diseños muy complejos como los brocados, damascos y matelasse.

El telar Jacquard se fue perfeccionando y hoy, con la ayuda de microprocesadores, se pueden obtener telas de complicados diseños con alta productividad. Los telares Jacquard modernos requieren una muy alta inversión y tienen un consumo de energía relativamente alto. Dado su alto costo inicial, deben funcionar el mayor tiempo posible produciendo grandes cantidades de metros de tela (*refs. 8 y 9*). Además el armado de un telar Jacquard para cada diseño requiere mucha mano de obra y por tanto no es económico tejer poca cantidad de metros. Para diseños más simples se utilizan telares con dispositivos más sencillos llamados “pequeños jacquards”, “*rattieras*”, “*dobbies*” o “*maquinitas*” que permiten manejar solo de 24 a 36 “cuadros” o “lizados”.

Los telares Jacquard tuvieron un gran impacto en la industria textil y al principio dejaron a muchos tejedores sin trabajo, lo que empujó a algunos grupos a tratar de destruirlos e incluso agredir personalmente a su inventor. Este tipo de episodios eran frecuentes en esa época y aún hoy es un tema de controversia determinar si los avances tecnológicos disminuyen los puestos de trabajo en el corto plazo, pero los aumentan en el largo plazo.

El telar Jacquard fue la primera máquina que utilizó tarjetas perforadas para controlar la secuencia de una operación y constituye por tanto un antecedente de los primeros diseños de computadoras realizados por Charles Babbage.



Figura 1.63
Preparando las tarjetas perforadas de un telar Jacquard

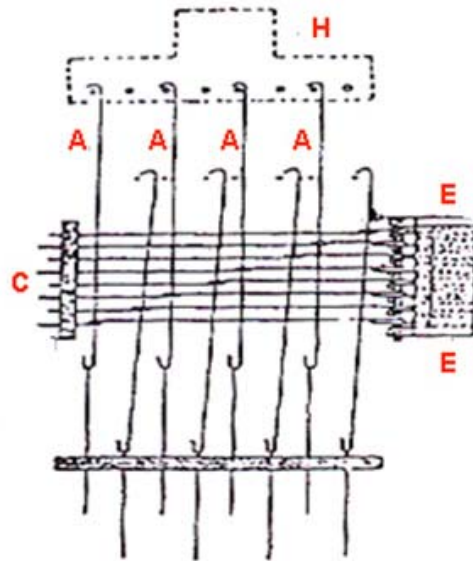
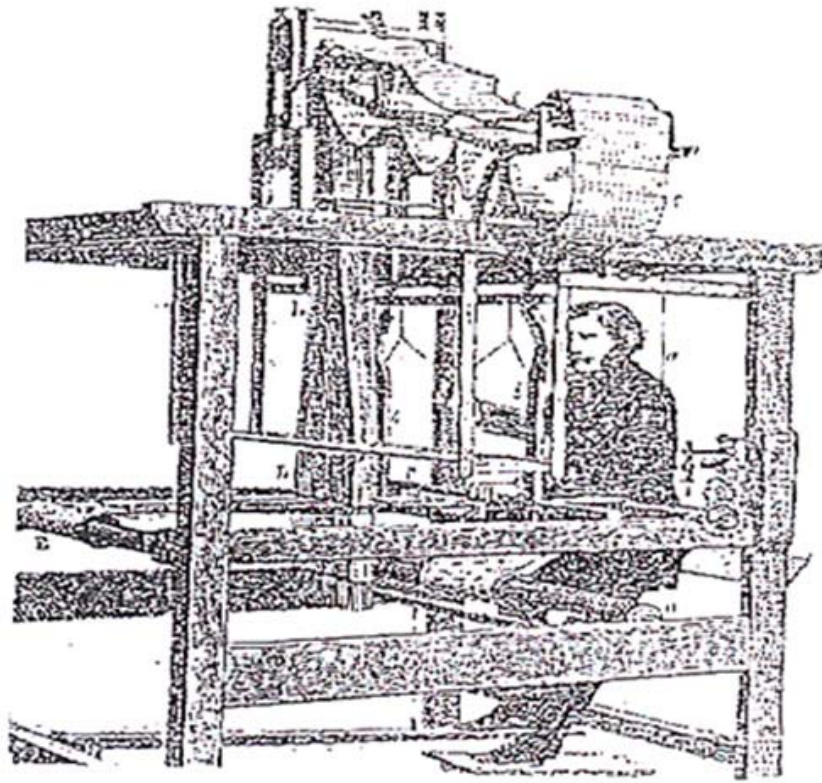


Figura 1.64

MECANISMOS BÁSICOS DE UN TELAR JACQUARD (refs.3 y 6)

Al empujar las agujas "C" contra los resortes "E" con un cartón perforado - que no aparece en la figura - aquellas agujas que coinciden con un orificio en el cartón, no se mueven. Las que no coinciden con un orificio son empujadas por el cartón y se desplazan sacando de posición los ganchos "A" (estos ganchos A pasan por unos "ojos" que tienen las agujas "C"). Los ganchos "A" que no han sido sacados de posición, son levantados por el marco "H" que baja y sube alternativamente en cada apertura de la calada. De esa forma los ganchos no desplazados levantan y bajan los hilos de urdimbre que están por debajo y que tampoco aparecen en la figura. Por simplificación en la figura aparecen solo 8 ganchos pero obviamente puede haber muchos más.

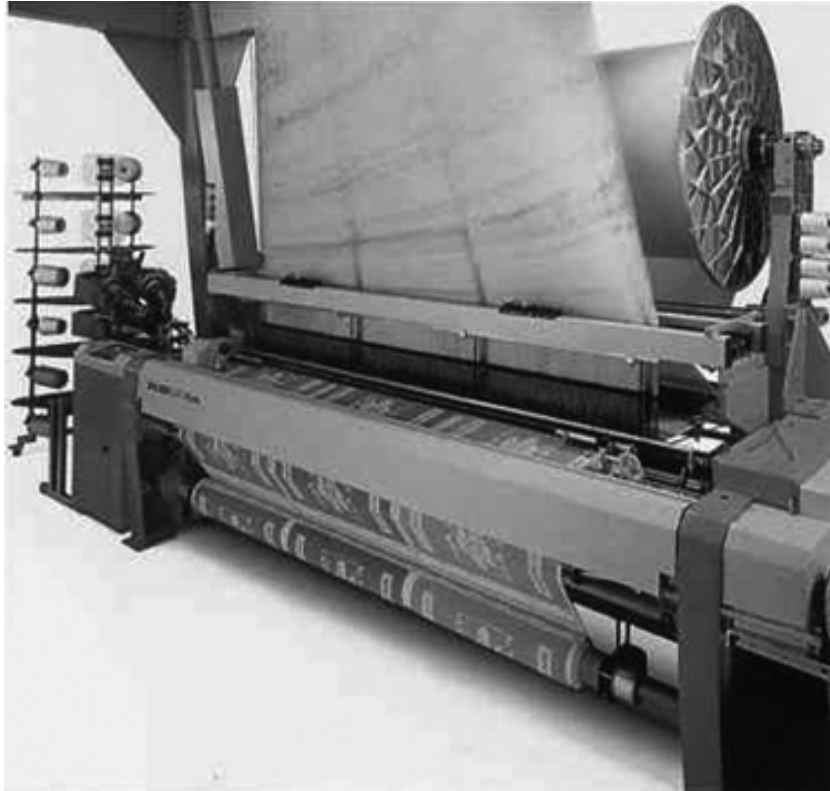


Figura 1.65
Telar Jacquard moderno (año 1995 aproximadamente)

5.7.0- LOS TELARES MODERNOS

Como la lanzadera es una pieza independiente, que no está conectada a ninguna parte del telar, debe entonces portar consigo, en su interior, una bobina o *"canilla"* con el hilado de trama. La cantidad de trama que puede tener una *"canilla"* es limitada, dependiendo del tamaño de la lanzadera y del título del hilado. Por tanto en los primeros telares mecánicos era necesario reponer permanentemente las lanzaderas con sus *"canillas"* completas. De esta forma un operario podía atender unos 8 telares. Esto era un gran adelanto con respecto a los telares manuales pero estaba aún lejos de permitir el aumento de productividad que la demanda de telas imponía.

Recién en 1895 el inglés **James H. Northrop**, trabajando en USA, logra mecanizar el cambio de *"canillas"*. El mecanismo consistía en un *"magazine"* que giraba cargado de *"canillas"* llenas. Las *"canillas"* llenas desplazaban a las vacías cada vez que era necesario. El recambio de canillas se hacía en la fracción de segundo en que la lanzadera se detenía al final de su recorrido. La *"canilla"* vacía salía por debajo de la lanzadera, pues esta era "hueca" o "sin piso", y caía en un recipiente. Estos telares Northrop se conocieron como **"telares automáticos"**. No solo cambiaban la *"canilla"* sino que además tenían mecanismos de seguridad que paraban el telar cuando se producía una rotura de hilo de trama o de urdimbre. Según la calidad del hilado, un solo operario podía ahora atender más de 20 telares (refs. 4, 5 y 6)

Si bien en algunas fábricas aún se puede encontrar telares de lanzadera funcionado, estos telares hoy son utilizados casi exclusivamente por artesanos. En los telares de lanzadera se podían lograr unas 200 pasadas por minuto, a velocidades de inserción de trama de unos 600 metros por minuto, aproximadamente. En los telares modernos sin lanzadera (*"shuttleless looms"*) la inserción de trama se realiza por medio de mecanismos mucho más eficientes. En algunos, como p.ej. los **"telares de pinzas"**, la lanzadera ha sido sustituida por **"espaldines tramadores"** o **"rapiers"** que

son dos cintas flexibles (*o en algunos tipos, lanzas telescópicas*), con **pinzas** en el extremo de cada una, y que penetran por cada lado del telar. Las pinzas, en la mitad de la calada, se intercambian el hilo de trama. En otros telares, los “**telares de proyectil**”, el extremo de la trama es transportado a gran velocidad por un “proyectil”. En los **telares “jet”** la punta de la trama es transportada por un volumen de agua o de aire. Con estos telares “jet” se superan las 700 pasadas por minuto lo que, en un telar de 3 metros de ancho implica una velocidad de inserción de trama de más de 2000 metros por minuto. Recientemente se han desarrollado **telares de calada ondulante** que permiten velocidades de inserción de trama aún más elevadas.

TABLA 1.6
EVOLUCIÓN DE LOS TELARES PLANOS

<i>MECANISMOS DE APERTURA DE LA CALADA</i>	<i>MECANISMOS DE INSERCIÓN DE TRAMA</i>
1- Apertura de la calada con un <i>listón</i> de madera	1- Inserción de trama manual
2- Dos cuadros movidos por pedales	2- Inserción de lanzadera manual
3- Varios cuadros movidos con tirantes	3- Telar de John Kay (<i>año 1733</i>)
4- Telar de Bouchon (<i>año 1725</i>)	4- Inserción mecánica de la lanzadera (<i>año 1784</i>)
5- Telar de Jacquard (<i>año 1804 aprox.</i>)	5- Telares Northrop (<i>año 1895</i>)
6- Telares con “ <i>rattieras</i> ” (“ <i>Dobbies</i> ”)	6- Telares sin lanzadera (<i>aprox., año 1950 en adelante</i>)
7- Telares de multicalada (<i>año 2000 aprox.</i>)	

6.0.0- LA DESMOTADORA DE ALGODÓN DE ELI WHITNEY

En la segunda mitad del siglo XVIII la economía de los estados del sur de los E.E.U.U estaba basada principalmente en el cultivo de tabaco, arroz y algodón, con utilización de mano de obra esclava. El cultivo del algodón se limitaba a una angosta franja de clima cálido y húmedo, paralela a la costa de los estados de Carolina y de Georgia. Ese algodón era conocido entonces, y aún hoy, como “*sea island cotton*” (*Gossypium barbadense*) y se caracteriza por tener fibras largas (*30 a 40 mm*) muy suaves y de buena calidad. Sin embargo, a medida que las fábricas textiles inglesas aumentaban su demanda por el algodón americano, los cultivos se extendieron cada vez más hacia el interior de los estados sureños. En esas tierras, sin embargo, se daba un algodón de fibra más corta que se denominó “*de tierra adentro*” o “*upland cotton*” (*Gossypium hirsutum*), con el que se obtenían hilados y tejidos de menor calidad.

Una vez cosechado, el algodón debe ser “**desmotado**”, operación que consiste en separar semillas y restos vegetales de las fibras. En la India desde siglos atrás para ese fin se usaba un rodillo con púas que separaba con relativa facilidad las largas y suaves fibras de algodón hindú. **Joseph Eve** en 1788, en EEUU, patentó una máquina (“*roller-giri*”) que presentaba varias mejoras con respecto al rodillo hindú pero que, como el, solo era adecuada para desmotar el algodón de fibras largas, es decir el “*sea island*”.

El algodón “*upland*”, de fibra corta muy adherida a la semilla, debía desmotarse manualmente lo que requería muchas horas de trabajo extra. Esta tarea la realizaban los esclavos luego de terminadas sus tareas en el campo. No es de extrañar, entonces, que el algodón en aquellos tiempos fuera una fibra relativamente escasa y cara. Algunos estudios señalan que los europeos y los americanos, hacia 1783, consumían un 77% de lana, un 18% de lino y solo un 5% de algodón⁵.

⁵ El algodón fue importado por primera vez en Inglaterra en el siglo 16 e inicialmente se mezclaba con hilados de lino o lana (*ver Sección 4.6.0*). Recién alrededor de 1750 se comenzaron a tejer telas y a confeccionar artículos de

En 1792, en una visita a la plantación de algodón *Mulberry Grove*, ubicada en Savannah, Georgia, un mecánico nativo de Connecticut, **Eli Whitney** - con experiencia en la industria textil de los estados del norte - comprendió que de poder crearse una máquina que permitiera separar en forma eficiente las fibras cortas de algodón, eso sería un gran adelanto. Y en unas pocas semanas de trabajo desarrolló una desmotadora mecánica que luego fue conocida como "*cotton-gin*" ("*gin*" por abreviación de "*engine*").

La máquina consistía en una tolva en cuyo fondo había una rejilla. El algodón tomaba contacto con la rejilla, por debajo de la que giraba un cilindro con ganchos de alambre insertados. Los ganchos enganchaban y tiraban de las fibras de algodón que sobresalían a través de la rejilla mientras que las semillas quedaban retenidas. Luego un cepillo giratorio retiraba las fibras de algodón retenidas por los ganchos. De esta manera un hombre podía separar muchos kilos de fibra al día mientras que, a mano, apenas llegaba al medio kilo.

Estas primeras desmotadoras dañaban algo a las fibras. El algodón "*upland*", que debía desmotarse en estas máquinas, era considerado de mala calidad y se pagaba menos de la mitad de lo que se pagaba por el tipo "*sea island*", desmotado en "*roller-gin*". Como la expansión de la industria textil algodonera inglesa no dejaba opción, la demanda por algodón "*upland*" aumentaba de todas maneras. Para disminuir el daño a la fibra, poco a poco se fueron introduciendo mejoras a las máquinas. Una de las primeras y más importantes fue sustituir los alambres con ganchos - que tiraban de las fibras a través de la rejilla - por discos dentados. Esto permitió un "*desmotado*" menos agresivo y una mayor aceptación del algodón "*upland*". En 1790 - antes de que existiera el "*cotton-gin*" - la totalidad de los escasos 3000 fardos de algodón que se producían en los estados sureños eran del tipo "*sea island*" mientras que, en 1860 y como resultado de las mejoras en el desmotado mecánico, la mayor parte de los 4 millones de fardos que ya se producían, eran del tipo "*upland*".

La generalización del uso de la "*cotton-gin*" tuvo como consecuencia una gran expansión del cultivo del algodón e hizo que los precios fueran más competitivos. Sumado esto a la alta productividad de las nuevas máquinas hilanderas, a los telares mecánicos y al transporte marítimo en buques a vapor, la demanda creció hasta transformar al algodón en la principal fibra textil de consumo mundial (*recién después de 1950 el algodón comenzó a ser superado, en cantidad, por el conjunto de fibras químicas*). A partir de 1800, entonces, la producción de algodón americano, se duplicó cada diez años y, 50 años después, EEUU producía las tres cuartas partes del total mundial. Hacia 1860 la exportación de algodón a Inglaterra alcanzaba a los tres quintos del total de exportaciones de la Unión. El mismo proceso, mirado desde Inglaterra, nos muestra que en 1802 solo el 4 % del ingreso nacional correspondía a la industria textil algodonera pero que ya en 1830, más de la mitad del ingreso nacional provenía de las exportaciones de artículos textiles de algodón.

El desarrollo del "*cotton-gin*", a partir de 1793, marcó también un punto de inflexión en la economía esclavista de los estados del sur. Al contrario de lo que podría pensarse, este tipo de economía no fue un freno para el desarrollo del "*cotton-gin*". Se debe tener en cuenta que los esclavos tenían un valor, que sumado al costo de su mantenimiento, hacía de todas maneras deseable, para muchos plantadores, disminuir el empleo de mano de obra esclava y por tanto las desmotadoras mecánicas fueron bienvenidas. La utilización del "*cotton-gin*" hizo al algodón más lucrativo y por tanto condujo a un aumento de la cantidad de establecimientos que lo cultivaban. Como consecuencia, la esclavitud en lugar de disminuir se extendió - especialmente en los

puro algodón, de manera que la importación de fibra - desde las Indias Occidentales y desde las colonias americanas - aumentó gradualmente hasta que, en 1790, llegó a cifras cercanas a los 15 millones de kilos.

estados de Georgia, Alabama y Mississippi – condición que solo cambió después de la Guerra de Secesión de 1861.

La máquina de **Eli Whitney** (Figs. 1.67 y 1.68) comenzó siendo accionada por un caballo o por fuerza hidráulica y, al poco tiempo, por vapor. Actualmente, algunas desmotadoras modernas - accionadas por motores eléctricos, con aspiración y soplado neumático - limpian, secan, humidifican, clasifican, enfardan y pueden producir 15 o más toneladas de algodón limpio por hora.

El 14 de Marzo de 1794 **Whitney** solicitó una patente para su máquina pero no obtuvo su plena concesión hasta 1807 pues debió litigar durante años, con grandes gastos de tiempo y dinero, contra otros que copiaron o imitaron su máquina. Existe cierta controversia sobre si es correcto atribuir a **Eli Whitney** la idea de la desmotadora y sus elementos constituyentes. Algunos consideran que la invención, o al menos el concepto original, debe acreditarse a **Catherine Littlefield Greene**, con la que había trabajado. En aquella época las mujeres no podían recibir patentes en Estados Unidos y puede que **Greene** pidiese a **Whitney** que la tramitase en su lugar. Los registros de la oficina de patentes también indican que la primera desmotadora puede haber sido construida por un mecánico llamado **Noah Homes** dos años antes de que **Whitney** solicitara su patente.

De todas maneras, a pesar de la importancia que tuvo la "*cotton-girl*" para la producción de algodón y para el desarrollo de la industria textil algodonera - actividad que generó enormes fortunas - el invento de esta máquina no hizo a **Eli Whitney** un hombre rico. Solo muchos años después **Whitney** hizo fortuna como fabricante de armas de fuego. Esto es, en cierto modo, una desagradable culminación de una admirable historia de innovación y emprendimiento.

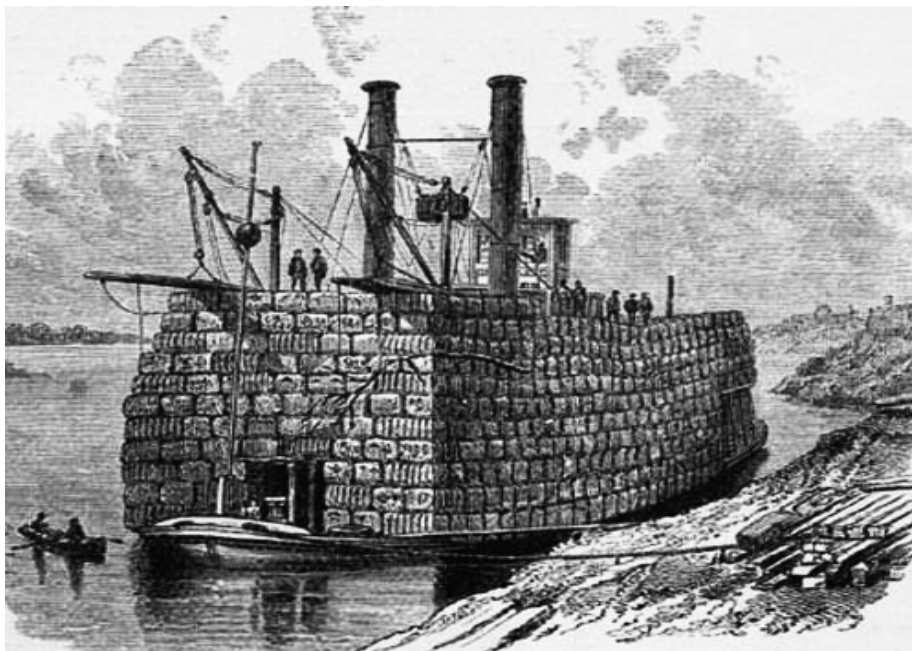


Figura 1.66

Cientos de fardos de algodón se transportaban en lanchones por el río Mississippi pocos años después del invento de la desmotadora de Eli Whitney.

TABLA 1.7

PRODUCCIÓN DE ALGODÓN, E.E.U.U. 1790-1860 (Fardos de 500 lbs. c/u)					
AÑO	PRODUCCIÓN	AÑO	PRODUCCIÓN	AÑO	PRODUCCIÓN
1790	3,135	1815	208,986	1840	1,346,232
1795	16,719	1820	334,378	1845	1,804,223
1800	73,145	1825	532,915	1850	2,133,851
1805	146,290	1830	731,452	1855	3,217,417
1810	177,638	1835	1,060,711	1860	3,837,402

TABLA 1.8

EXPORTACIONES DE ALGODÓN DE E.E.U.U. 1793 - 1800	
AÑO	Kg (*)
1793 (**)	70.000
1794	250.000
1795	750.000
1796	3:000.000
1800	9:000.000

(*) valores aproximados)

(**) Año en que se inventa la "Cotton-gin"



Figura 1.67 - Antigua desmotadora de algodón de Eli Whitney

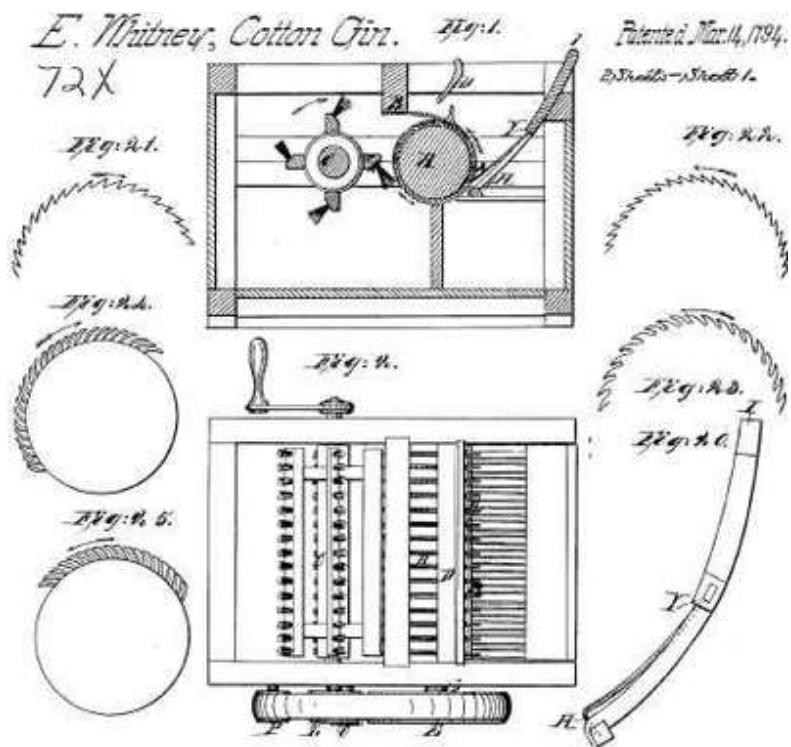


Figura 1.68 - Dibujo en la solicitud de la patente de 1794

7.0.0- LAS FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS

Como ya se ha mencionado anteriormente, el algodón era una fibra conocida y utilizada por el hombre desde 5000 ó más años atrás, pero en Europa recién comienza a ser importante en el siglo XVIII. En Inglaterra la introducción del algodón había sido siempre resistida, especialmente por los hilanderos de lino y lana. Desde tiempo atrás el gobierno inglés había establecido impuestos a la importación, tanto para la fibra en bruto como para los hilados y tejidos. Sin embargo, alrededor de 1760, en los años previos al comienzo de la Revolución Industrial, los impuestos a la fibra se habían suprimido y solo persistían los que gravaban a los tejidos. Las importaciones de artículos de algodón aumentaban año a año. La mayor parte de los sectores financieros, y también del gobierno, pasaron a estar interesados en la importación de algodón, mientras que el lino y la lana entraban en crisis. La importación de algodón sumada a la innovación tecnológica que representaban las nuevas máquinas de hilar y tejer, movidas con la fuerza motriz del vapor, le dio un golpe de muerte a las formas tradicionales de producción artesanal y rural, primero en Inglaterra y luego en toda Europa.

Mientras tanto, las trece colonias americanas de Inglaterra obtuvieron su independencia en 1776. Los estados sureños continuarían suministrando durante muchos años - con mano de obra esclava y, luego de 1793, desmotando con la "*cotton-gin*" de **Eli Whitney** - abundante algodón barato a la cada vez más poderosa industria textil inglesa. Los estados del Norte, en cambio, desarrollaban su propia industria textil con la oposición de Inglaterra que trataba por todos los medios de evitar la copia de sus máquinas de hilar y tejer. Inglaterra, si bien coincidía en sus esquemas económicos con el Norte, apoyaba a los estados del Sur que eran proveedores materia prima barata, imprescindible para su industria algodонера y, a la vez importantes clientes de sus manufacturas.

A mediados del siglo XIX, los estados norteños, para defenderse de la guerra de precios establecida por Inglaterra, impusieron barreras aduaneras para toda la Unión. A los estados sureños esta medida los perjudicaba mucho pues, el algodón era una de las importantes bases de su economía. Los estados del Sur estaban económicamente más vinculados a Inglaterra que a los estados del Norte. Mientras que en el Sur se trabajaba con mano de obra esclava en el Norte las empresas pagaban salarios a sus empleados. Esto significaba una situación incompatible e insostenible para la estabilidad de la Unión y en **1861** estalla una terrible y sangrienta guerra civil, conocida como "**Guerra de Secesión**", que durará cuatro años.

Los estados del Norte establecieron durante la guerra un **bloqueo naval** a los del Sur que impedía el comercio de estos con Inglaterra. Como consecuencia, se produce una gran escasez de algodón en Europa, conocida como "**el hambre del algodón**". Esta escasez tuvo muchas consecuencias políticas y económicas. Entre las más importantes se pueden mencionar: **1)** la afirmación y expansión colonial inglesa en la India, Sudán y Egipto, para asegurarse fuentes alternativas y baratas de algodón, **2)** el aumento de la demanda de lana, como fibra alternativa, que estimula la introducción del ovino y la producción lanera en Australia, Nueva Zelandia, Argentina y Uruguay y, finalmente, **3)** el revolucionario desarrollo de las **fibras artificiales**, que comenzarán entonces a competir con las fibras naturales (*ref. 17*).

Como antecedente de las primeras fibras artificiales, se debe mencionar que desde hacía mucho tiempo se hacían intentos de imitar a la **seda**, única "fibra continua" o "**filamento**" que ofrecía la naturaleza, Pero es recién en 1889 que **Hilaire de Chardonnet** presenta, en la Exposición Internacional de París, un filamento de **nitrocelulosa** que marca el comienzo del desarrollo de las fibras artificiales. Al "**rayón Chardonnet**" le siguió muy pronto el "**rayón cuproamoniaco**", el "**rayón viscosa**" y los "**rayones di y triacetato**" (*ref. 4*). Estos filamentos artificiales - ideados originalmente para imitar la seda pero obtenidos a partir de la **celulosa de madera** - al ser cortados y transformados en "fibras discontinuas", se convirtieron en importantes competidores del algodón. La

“viscosa” y el “diacetato”, como se les llama abreviadamente, son las fibras artificiales⁶ que han sobrevivido con más éxito hasta nuestros días.

Ya avanzado el siglo XX, el conocimiento cada vez mayor de la constitución de la materia así como el desarrollo de la petroquímica y de la química orgánica, permiten la producción de fibras textiles a partir de productos de relativamente bajo peso molecular derivados del petróleo, que por polimerización se transforman en productos de alto peso molecular o polímeros. A estas nuevas fibras químicas se les llamará “fibras sintéticas”⁷ para diferenciarlas de las **fibras artificiales** que se habían obtenido por la modificación de polímeros naturales, es decir sustancias de alto peso molecular ya existentes en la naturaleza, como la **celulosa**. La primera fibra sintética, el **nylon**, fue desarrollada, en 1935 en los laboratorios de la empresa DuPont, por el químico **Wallace Carothers**.

Al “nylon”, lanzado al mercado en 1938, le siguieron luego las fibras “**poliéster**”, las “**poliacrílicas**”, las “**clorovinílicas**”, las “**poliolefínicas**”, las “**poliuretánicas**”, etc. Las fibras químicas, artificiales y sintéticas, constituyen hoy, aproximadamente, la mitad de todas las fibras textiles utilizadas en el mundo (*ref. 4*) (*ver Figuras 1.69 a 1.74*)

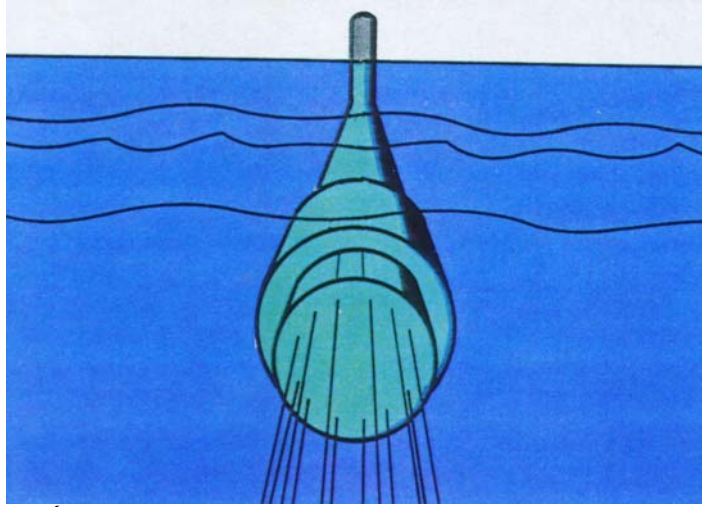
⁶ Se llama “fibra artificial” a aquella que está constituida por un “polímero” natural modificado por el hombre, como p.ej. la celulosa en el caso de la viscosa y de los acetatos.

⁷ Se denominan “fibras sintéticas” aquellas constituidas por “polímeros” hechos totalmente por el hombre, a partir de “monómeros” o sustancias químicas sencillas.

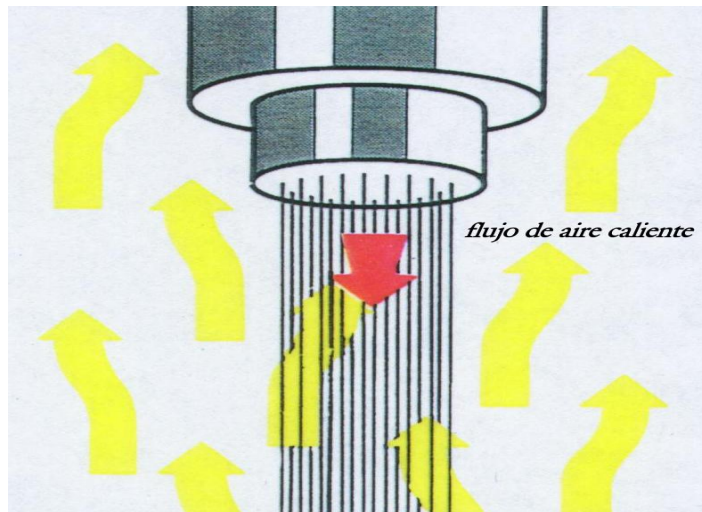
Figura 1.69

MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTOS ARTIFICIALES Y SINTÉTICOS

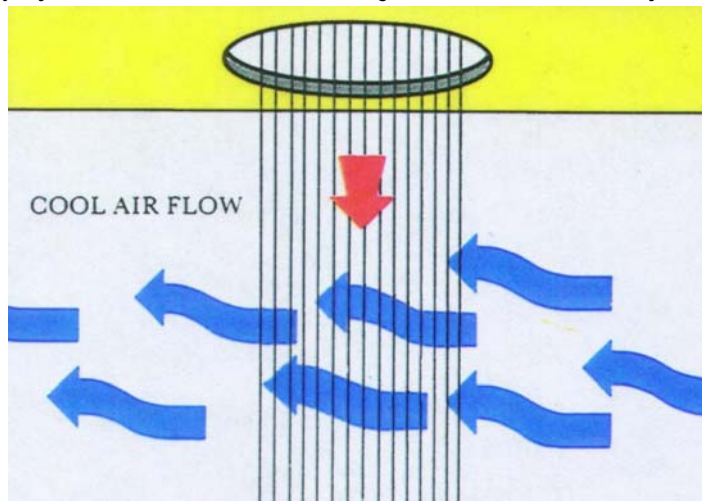
(Figuras reproducidas con la autorización de la "British Man-Made Fibers Federation")



MÉTODO HÚMEDO: el polímero en solución coagula y solidifica por cambio de solvente
(Ej. rayon viscosa, rayon cupro, algunas acrílicas, modacrílicas y elastano)



MÉTODO SECO: el polímero en solución solidifica por evaporación del solvente en aire caliente
(Ej. rayon acetato, triacetato, clorofibras, algunas acrílicas, modacrílicas y elastano)



MÉTODO POR FUSIÓN Y SOLIDIFICACIÓN: el polímero fundido solidifica por enfriamiento
(Ej. poliamidas, poliéster, polietileno, polipropileno)



Figura 1.70 - PRODUCCIÓN DE FILAMENTOS

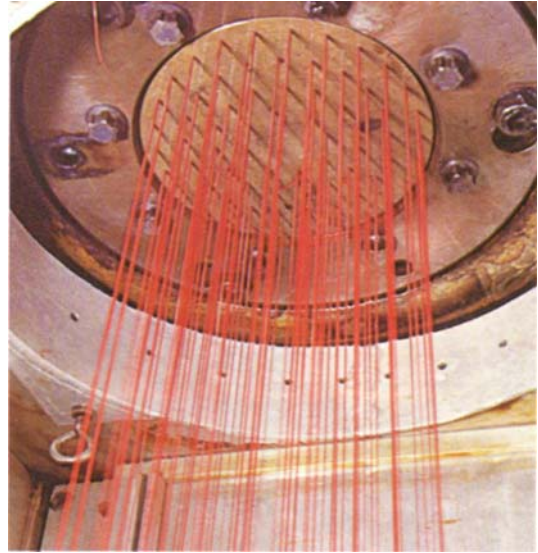
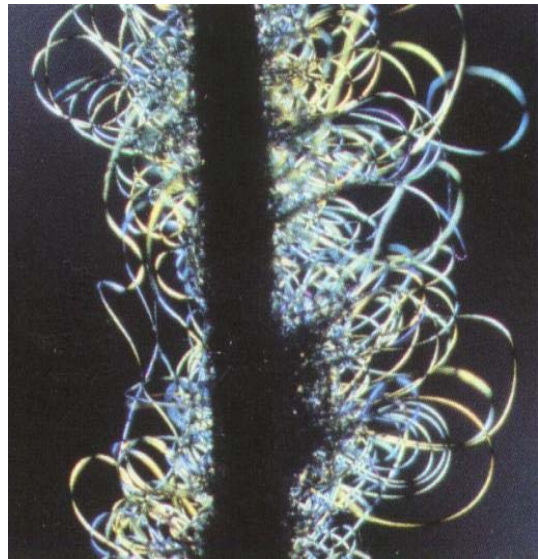
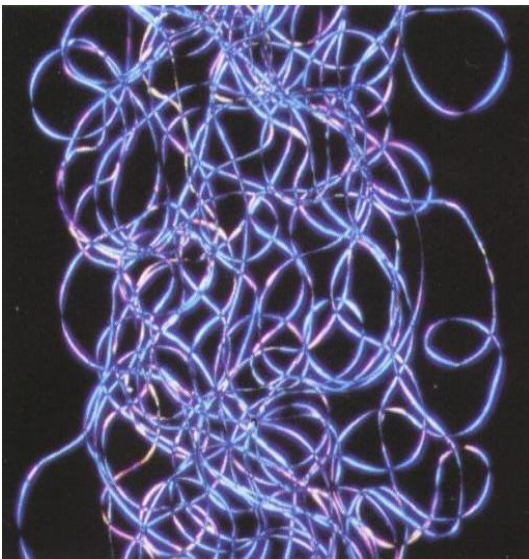


Figura 1.71 - "SPINIRETTE"



Figuras 1.72 y 1.73 - MULTIFILAMENTOS TEXTURIZADOS

La velocidad de producción de filamentos ha pasado en pocos años de 1000 m/minuto a más de 5000 m/minuto a la salida del "spinirette". Es interesante comparar estos valores con las velocidades de entrega de la hilatura convencional R/S, del orden de los 25 m / minuto, y aún con los de la hilatura O/E, con velocidades de entrega mucho mayores, pero del orden de los 200 m /minuto.

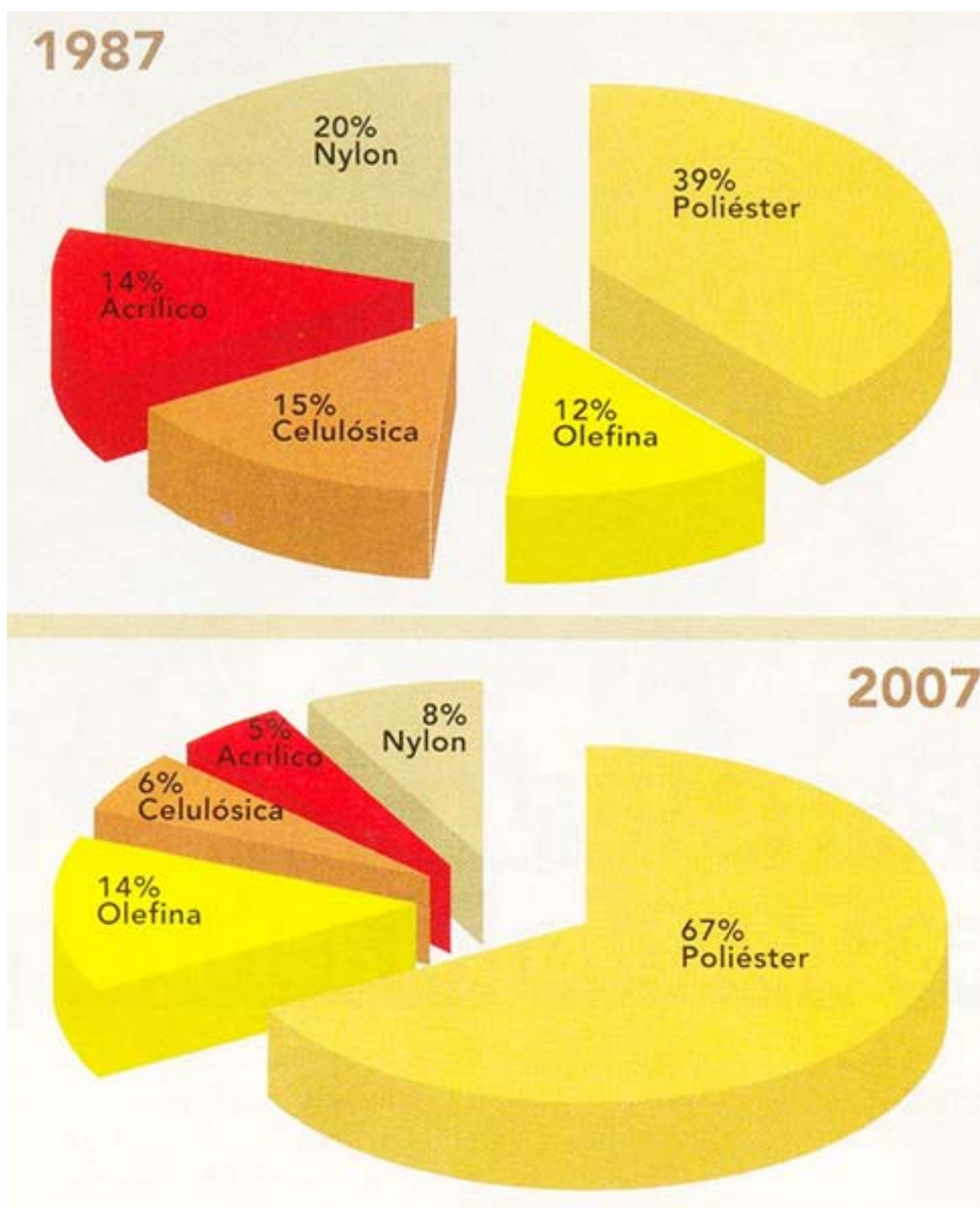


Figura 1.74
PORCENTAJES DE PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS
Fuente: "Fiber Economics Bureau" (FEB)

8.0.0- EL DESARROLLO DE LOS COLORANTES SINTÉTICOS

Desde los tiempos más remotos el hombre se ha sentido interesado y atraído por el color, utilizando diversos materiales para colorear representaciones del mundo que le rodeaba. La pintura de animales y escenas de caza en las cuevas prehistóricas, la evolución de la pintura artística, la decoración de objetos cerámicos, la coloración de los textiles, la moderna industria gráfica, etc., son algunos ejemplos de la importancia que el color ha tenido en la vida y en el desarrollo cultural de la Humanidad.

Hasta 1856, año en que se produce el primer colorante sintético, todas las materias colorantes se extraían de los minerales, plantas o animales que los contenían. El uso de pigmentos minerales en las pinturas rupestres se remonta a aproximadamente 60.000 años AC. Los óxidos de hierro ocres y el negro de humo dispersados en grasa animal eran los colores más utilizados para ese fin.

Se estima que recién en el Neolítico se comienzan a usar extractos de hojas, flores y frutos para teñir textiles. En la Antigüedad el color azul se obtenía principalmente de dos plantas: una originaria de la India, el **índigo** (*Indigofera tinctoria*) y la otra de Europa, el **glasto** (*Isatis tinctoria*). Ambas contienen un glucósido incoloro, el *indicán*, formado por indoxilo y glucosa. El *indicán* al oxidarse con el aire genera un colorante azul. Se estima que el **índigo** rinde aproximadamente veinte veces más colorante que el **glasto**. También se conocía un colorante púrpura, obtenido de un molusco, el "*murex brandaris*", que se encontraba en las costas del actual Líbano. Con él se teñían las capas de los emperadores romanos, por lo que se le conocía como "**púrpura imperial**".

Los extractos de cortezas, hojas, semillas y frutos ricos en **ácido tánico**, se utilizaron inicialmente para teñir de negro y luego también de amarillo, rojo y marrón, tratando previamente el textil con sales metálicas o "**mordientes**". Es sorprendente comprobar que, a pesar de su relativa complejidad, este método de tintura se conocía ya en épocas muy tempranas. Un ejemplo es la raíz de la **Rubia** o **Granza** (*Rubia tinctoria*), que contiene el colorante "mordentable" **alizarina** con el que se obtenían rojos, púrpuras y marrones, y que fue muy utilizada en Europa desde comienzos de la Edad media o antes. Otro ejemplo es una madera que se traía de Java y Ceilán que por su color rojo como "brasa" se llamó "**palo brasil**". En el 1500 el portugués Pedro Cabral al llegar a las costas de Sudamérica encontró gran cantidad de arboles de "*palo brasil*" y entonces esta madera le dio el nombre al nuevo país que se estaba descubriendo. El extracto de esta madera, según el metal utilizado para "mordentar" el textil, producía diversos tonos de rojos y marrones.

En el siglo XV al descubrirse nuevas rutas marítimas se pudo disponer de una mayor cantidad y variedad de colorantes naturales. Algunos ejemplos son el **cachú** o **cachunde**, extraído de las hojas de un árbol originario de la India; la **cochinilla** mexicana, colorante carmín extraído de insectos; la **morina** brasileña o "fustic nuevo" (*morus tinctoria*); el "**palo campeche**" de Yucatán, México; el "**quercitrón**" (*quercus velutina*) extraído de la corteza del roble negro del sur de USA; etc.

En el siglo XIII, en las ricas ciudades comerciales de Italia existían ya **corporaciones** o **guildas** de tintoreros pero recién en el siglo XVII estas organizaciones se habían generalizado en casi toda Europa. En general era de dos tipos: las que agrupaban a los "tintoreros de colores finos" que se ocupaban de teñir telas caras, y las que agrupaban a los "tintoreros comunes", que teñían sólo telas baratas. Los tintoreros de seda, en general, si bien tenían ciertos contactos entre ellos, se mantenían al margen de estas corporaciones.

Los “**tintoreros de colores finos**” debían teñir con colores “firmes” y entre los colorantes que utilizaban estaba el índigo y el glasto para los azules, la rubia (*alizarina*), la cochinilla y el quermes para los rojos y el **sumaque** o **fustete** para los amarillos. Los tonos de azules y rojos brillantes que se obtenían con estos colorantes no podían obtenerse con ninguno de los otros conocidos. Los “**tintoreros comunes**” teñían en cambio prendas sin mayores exigencias de solidez al lavado y a la luz utilizando **palo campeche** para gris y negro, **palo brasil** para los rojos, etc. En la Tabla se indican algunos de los colorantes naturales de mayor importancia histórica.

TABLA 1.9 - ALGUNOS COLORANTES NATURALES

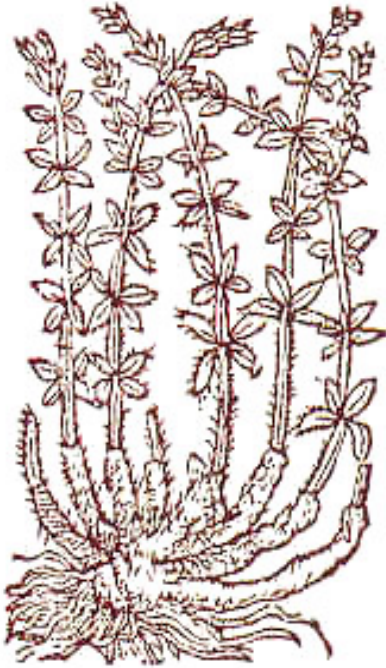
<i>NOMBRE ESPAÑOL</i>	<i>NOMBRE INGLÉS</i>	<i>NOMBRE CIENTÍFICO</i>	<i>REGIÓN DE ORIGEN</i>
ÍNDIGO o AÑIL	INDIGO	Indigofera tinctoria	India
GLASTO	WOAD	Isatis tinctoria	Europa
PÚRPURA	PURPLE	Murex brandaris (*)	Costas de Líbano
RUBIA o GRANZA	MADDER	Rubia Tinctorum	India, Asia Menor
COCHINILLA	COCHINEAL	Dactilophus coccus (**)	México
QUERMES	KERMES	Coccus ilicis (**)	Siria, Líbano
PALO CAMPECHE	LOGWOOD	Haematoxylon campechanum	México, C. América
PALO BRASIL	REDWOOD	Caesalpinia braziliensis	Java, Ceilán, Brasil
SUMAQUE	FUSTIC (old)	Rhus cotinus	Europa, Asia Menor
MORINA	FUSTIC (young)	Chlorofora tinctoria	Centro América
GUALDA	WELD	Reseda lutiola L	Europa, Asia
CACHÚ o CACHUNDE	CLUTCH	Acacia catechú	India, Malasia
AZAFRÁN	SAFFRON	Crocus sativus L	Grecia, Asia Menor
CÁRTAMO	SAFFLOWER	Carthamus tinctoria	Irán, Irak
QUERCITRON	QUERCITRON	Quercus velutina	USA
ANATO o ACHIOTE	ANNATO	Bixa orellana	Ecuador, Perú, Brasil

(*) caracol marino (**) insectos

En 1856, **William Perkins**, un estudiante de química de 18 años, tratando de sintetizar **quinina** (*la única droga que en esa época podía aliviar la malaria*) obtuvo un producto completamente distinto. **Perkins** oxidó **anilina**, un producto obtenido de la destilación de la hulla, con bicromato de potasio y ácido sulfúrico diluido, y obtuvo una solución de un colorante violeta, al que llamó **mauveína**, y que resultó ser muy apropiado para la tintura de seda. Obtuvo también un precipitado negro, a partir del que luego se desarrollaron los “**negros anilina**”. Al poco tiempo, **Perkins** instaló, con la ayuda de su padre y hermano, una fábrica para producir **mauveína** o **malveína**, a la que, en pocos años, siguieron otros colorantes sintéticos, tanto o más exitosos.

Con estos descubrimientos se inicia el vertiginoso desarrollo de la **industria de los colorantes sintéticos**. En un mundo que había dependido solamente de colorantes naturales relativamente escasos, la aparición de los colorantes sintéticos fue una revolución que cambió por completo los estándares de belleza. Al mismo tiempo la **química orgánica** avanzó enormemente y la subsiguiente síntesis del **índigo** y la **alizarina** - colorantes naturales conocidos y apreciados desde la Antigüedad - fueron pasos importantes en este sentido. Con este impulso nacen también otras industrias que se desarrollan vigorosamente: la industria **farmacéutica**, la de **pesticidas** agrícolas, la de los materiales **plásticos**, etc. Al **alquitrán de hulla**, como primer y principal fuente de materia prima para la producción de colorantes sintéticos, se le une pronto el **petróleo**, como fuente complementaria y/o alternativa, lo que contribuye también al desarrollo de la **petroquímica**. Actualmente, con más de 150 años de establecida, la industria de los

colorantes sintéticos ofrece una abundante y variada gama de productos. Paralelamente a este crecimiento, se han desarrollado también técnicas capaces de impartir colores atractivos, durables y brillantes a prácticamente todo tipo de materiales.



rojo (alizarina) utilizado antiguamente para teñir lana.



plantas y del que también se extrae un colorante rojo que tiñe lana y seda



Figura. 1.77
Tintoreros de la Edad Media

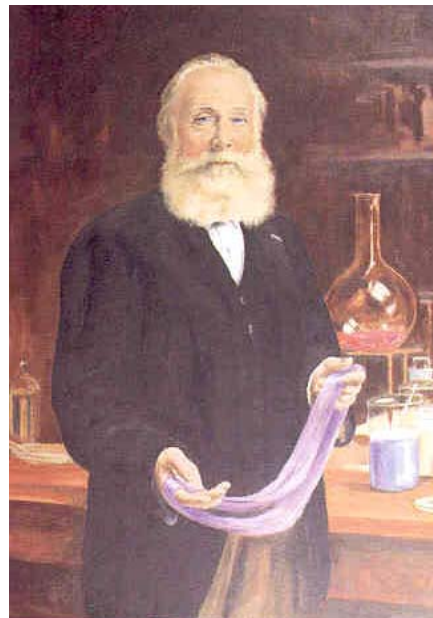


Figura 1.78
En 1856 William Perkins obtuvo el primer colorante sintético: la Mauveína

9.0.0- LA ESTAMPACIÓN TEXTIL

La estampación textil es un caso especial de impresión gráfica en la que el substrato, en lugar de ser papel, es una tela. Desde el punto de vista del tintorero se le puede considerar como una tintura localizada o por sectores.

En un telar Jacquard se pueden tejer telas de diseños muy complejos y atractivos (*p.ej. brocados y damascos*) utilizando hilados de diferentes colores, pero en general el costo de estas telas es alto. Con la **estampación textil**, en cambio, se puede también obtener una gran riqueza de diseños pero a costos menores.

Desde la Antigüedad se conocía la estampación con tacos de madera que, portando un diseño - ya sea este tallado o grabado como en la tipografía o en el huecograbado moderno - se entintaban y se aplicaban, como un sello, varias veces sobre las telas para obtener diseños repetitivos (*ver Figura 1.79*). También en muchas regiones se conocía la técnica de recubrir parcialmente la tela con cera - de acuerdo a un diseño preestablecido - y teñir luego las partes libres de cera. Esta técnica es aparentemente, originaria de la isla de Java y se conoce con el nombre de "Batik".

Se estima que ya en el Renacimiento comienza a utilizarse la estampación serigráfica, que consiste básicamente en entintar, a través de una malla parcialmente cubierta, las partes de tela que quedan libres para ser teñidas. Este procedimiento era muy utilizado en Europa ya en el siglo XVIII, especialmente por la industria sedera de Lyon, y por ello actualmente se le conoce como "*estampación a la lyonesa*" (*ver Figura 1.80*). Por esa misma época, los tejedores ingleses se oponían fuertemente, a la importación de algodones estampados provenientes de la India o "calico printings" ("*calico*" es una abreviación de "*Calicut*" nombre inglés de la ciudad de Calcuta) y también a la naciente industria local de estampación, pues consideraban que las telas estampadas, por ser más baratas, competían fuertemente con sus telas tejidas en telar (*ref.4*).

De todas maneras, las técnicas de estampación textil se fueron afirmando y a fines del siglo XIX, en Inglaterra, **William Morris (1834-96)**, una personalidad brillante y multifacética, le dio un gran impulso a la estampación textil, que era uno de sus grandes intereses y donde su influencia fue más notoria y extraordinaria. **Morris** fue uno de los principales ideólogos del movimiento "**Art and Craft**" por el que se trataba de rescatar el valor y la belleza de la artesanía, en gran medida avasallada por la **Revolución Industrial** y la **producción en serie**. Rechazó el mercantilismo en el arte, luchando por un arte hecho por la gente y para la gente y como una manifestación de felicidad, tanto para el que hace el objeto artístico como para el que lo usa. Como empresario supervisaba directamente la producción de las artesanías con extraordinaria dedicación al trabajo manual y a los detalles técnicos. La estampación textil fue una de las actividades en la que más investigó. Profundizando en el conocimiento de los colorantes y otros materiales de estampación, lo que le permitió desarrollar fórmulas y técnicas que le conferían a sus telas estampadas un colorido, brillo, solidez y precisión de diseño, no logrados hasta entonces. Muchas de sus obras pueden verse aún hoy en el **Museo de Victoria y Alberto**, en Londres. Finalmente como poeta, escritor y político luchó siempre por los más altos ideales de la libertad de pensamiento y de la justicia social, participando activamente en la vida política de la Inglaterra de fines del siglo XIX (*ref. 4 y 6*).



Figura 1.79 - Estampación con bloques de madera

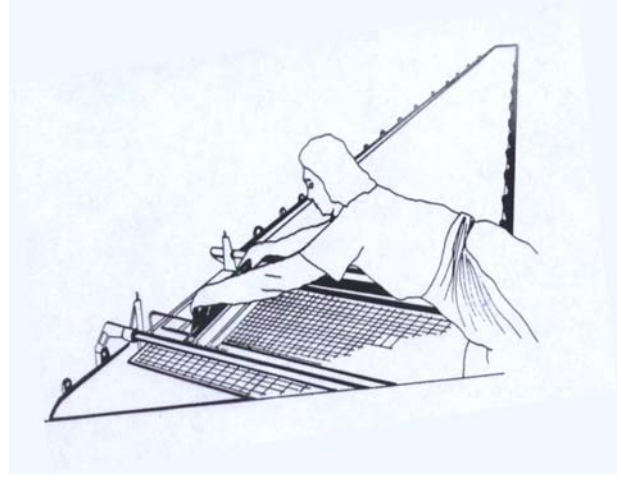


Figura 1.80 - Estampación a la "Lionesa" con "schablon"



Figura 1.81 - Estampación plana con shablons"



Figura 1.82 - Estampación rotativa en huecograbado

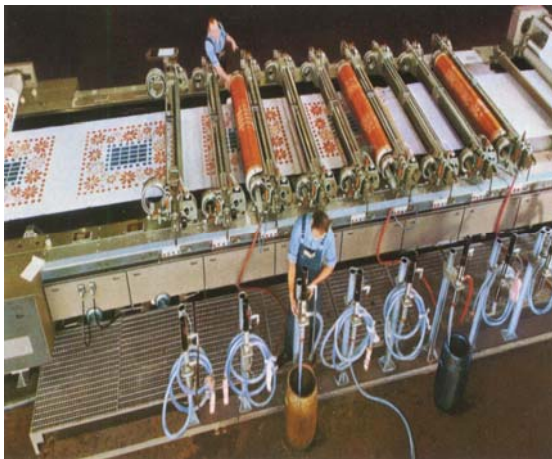


Figura 1.83 - Estampadora rotativa "Reggiani"

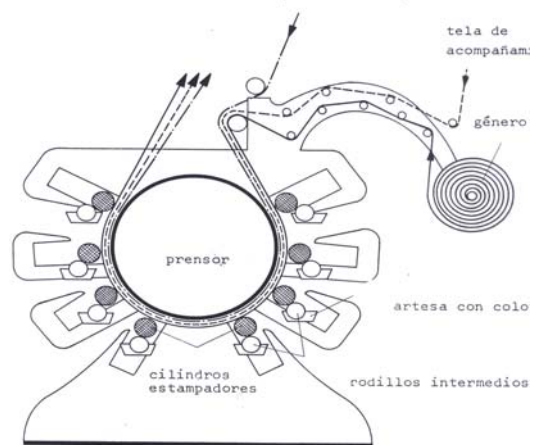


Figura 1.84 - Estampadora de cilindros



Figura 1.85



Figura 1.86



Figura 1.87



Figura 1.88



Figura 1.89



Figura 1.90

Figuras 1.85 a 1.90
ESTAMPADOS ANTIGUOS

Por su orden, 1) tela estampada con bloques de madera grabados (1770), 2) tela estampada con placa de cobre grabada (1769), 3) "chintz" estampado con motivos florales en barras (1790-1800), 4) "chintz" estampado con bloques de madera (1805), 5) "chintz" floral estampado con rodillos de madera (1835), 6) "chintz" estampado con diseño de William Morris (1875).

"Chintz" es el nombre tradicional de telas, generalmente de algodón, teñidas o estampadas, con una terminación que les confiere una mano firme y suave y aspecto brillante. Estas telas se utilizan frecuentemente en tapicería.



Figura 1.91
William Morris, fotografía tomada en la década de 1870
(ref. 1)

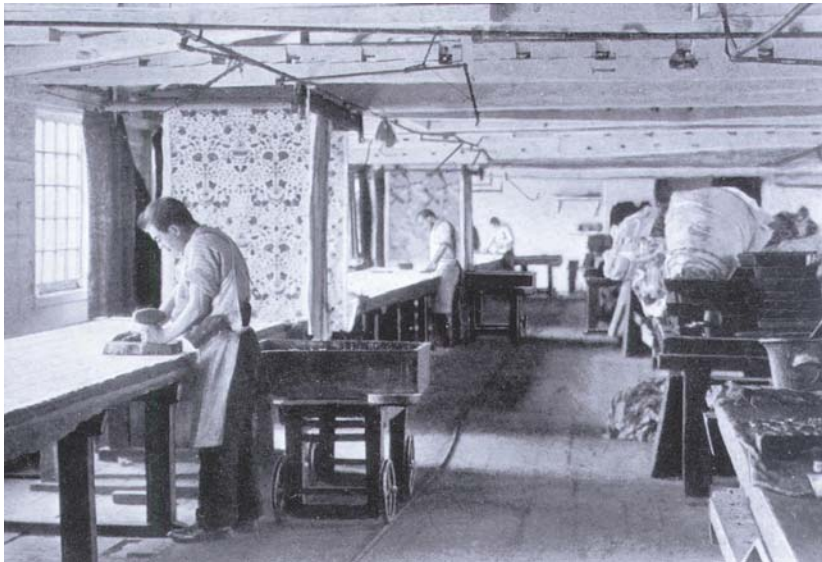


Figura 1.92
El taller de estampación instalado por Whillam Morris, en 1881, en Merton Abbey, Surrey
(ref. 5)

10.0.0- LA CONFECCIÓN DE ARTÍCULOS TEXTILES

La confección de prendas y otros artículos textiles fue, hasta bien entrado el siglo 20, una actividad predominantemente **artesanal** realizada en el hogar o en pequeños talleres por costureras y sastres. Sin embargo, estos gradualmente fueron quedando relegados a atender la demanda de mayor poder adquisitivo, capaz de pagar prendas hechas a medida. En cambio, la producción en serie, en grandes talleres y fábricas, de modelos previamente diseñados, ha aumentado sin cesar y se ha transformado en una importante actividad industrial.

La **industria de la confección** de prendas es considerada una "industria liviana" pues requiere relativamente poco capital y mucha mano de obra y por ello es una actividad apropiada para países con economías en desarrollo. En economías más desarrolladas, con costos de mano de obra más elevados, la industria de la confección se especializa, en general, en producir artículos de alta moda o de tecnología avanzada o que requieren una rápida respuesta a las demanda de sus mercados.

Se deben distinguir por lo menos dos grandes campos en la confección de vestimenta: la confección de prendas de **tejido de punto** y la confección de prendas hechas con **tejidos planos**. En este segundo grupo se deben incluir las prendas, generalmente descartables luego de un solo uso, hechas con "**telas no tejidas**". Las "**telas no tejidas**", como su nombre lo indica, no son tejidas con hilados sino producidas directamente con fibras por elaboración de un velo que luego es cohesionado con adhesivos o por punzonado. Con la excepción de los fieltros de lana - que son telas "no tejidas" conocidas desde siglos atrás - el resto de las telas "no tejidas" comienzan a producirse aproximadamente a mediados del siglo XX utilizando fibras artificiales y sintéticas.

En todos los casos se puede decir que el **diseño**, el **confort**, el **color**, el **precio** y la **adaptación a la moda** son los elementos más importantes que generan la aceptación o no de una prenda textil. En las últimas décadas se han producido innovaciones en todas las operaciones importantes del proceso de confección de prendas, innovaciones que han transformado a esa actividad en una industria moderna. El **diseño** asistido por computación (*CAD*), el **corte** de las telas con rayo láser y el desarrollo de las modernas **máquinas de coser y bordar de alta velocidad** son algunos ejemplos de los avances producidos. Pero se debe mencionar además como un factor de fundamental importancia **la aplicación de técnicas de gestión de calidad**.

Actualmente, la **gestión total de la calidad** es imprescindible para que una empresa sea competitiva y se mantenga en el mercado, cualquiera sea la actividad que realice, y esto es especialmente aplicable a la industria de la confección textil. **La calidad** puede ser definida como el conjunto de **propiedades** y **características** de un **producto** o **servicio** que le confieren a este **aptitud para satisfacer las expectativas**, expresas o implícitas, del **consumidor** de esos productos o servicios".

El concepto de calidad, existía ya desde el **Paleolítico** en la elaboración de los primeros útiles (*herramientas y armas*), que eran producidos uno por vez. Se trataba de una "auto-factura" en la que el consumidor era el mismo que fabricaba, controlaba y usaba. En el **Neolítico**, cuando aparecen una cantidad de nuevas técnicas (*agricultura, hilatura, tejeduría, alfarería, metalurgia, etc.*) se sigue haciendo un artículo por vez pero hay ya división y especialización del trabajo. En la **Edad Media** continua la modalidad de producción artesanal de productos únicos, con una mayor división del trabajo pues se produce en talleres, templos y corporaciones ("*guildas*"). En estos productos únicos tiene gran importancia el diseño pues este debe satisfacer tanto al artesano como al usuario. Cuando, en la Europa del siglo XVI se produce la **Revolución Industrial** y aparece el **sistema de producción fabril** se pasa por una etapa en que se prioriza

más la cantidad producida que el diseño. Como el productor comienza a alejarse cada vez más del consumidor, a medida que nos acercamos al siglo XX, se va haciendo cada vez más necesario el control de calidad del producto y finalmente la gestión total de calidad de la empresa. Debemos destacar una de las estrategias para la mejora continua de la calidad basada en un concepto ideado por Walter A. Shewhart y desarrollada por E. W. Deming denominada espiral de mejora continua o más sencillamente "Círculo Virtuoso de Deming" y que consta de cuatro pasos básicos conocidos como: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar.

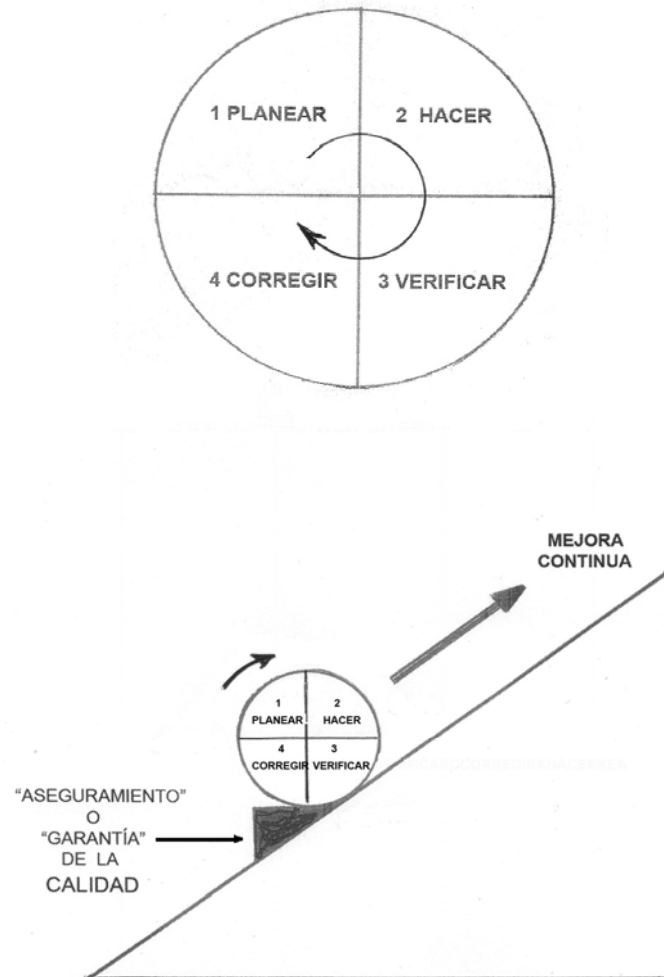


Figura 1.93
EL CÍRCULO VIRTUOSO DE DEMING

Con la adopción de la estrategia del Círculo de Deming la empresa incorpora un proceso de mejora continua. Si se pretende que este círculo siempre esté girando y siempre subiendo por un plano inclinado hacia estados de calidad más alta, también se deberá tratar de que no haya retrocesos. En ese modelo, eso se lograría "colocando una cuña" detrás del círculo evitando así un giro inverso y descendente. Parte de esa cuña estaría constituida, p.ej. por los sistemas de aseguramiento de la calidad como las Normas ISO 9000.

TABLA 1. 10
INVENCIONES Y DESARROLLOS DE IMPORTANCIA
PARA LA TECNOLOGÍA TEXTIL

PERÍODO HISTÓRICO	AÑOS	INVENTO O DESARROLLO
Paleolítico (Recolectores-cazadores nómades)	50000-10000 a.C.	Utilización del fuego
Neolítico (Revolución Agrícola)	10000-5000 a.C.	Utilización de las fibras naturales para uso textil. Hilatura manual. Telares primitivos (<i>de cintura, etc.</i>)
Antigüedad	5000 a.C-400 dC	Huso de Hilar. Telares horizontales y verticales con lizos movidos a pedal.
Edad Media	400-1400 dC	"Torno-huso" de hilar. Telares de "tirantes" para diseños complejos.
Renacimiento	1400-1500 dC	"Molinado" de la seda. "Rueca" de hilar.
Moderna (Revolución Industrial)	1500-1900 dC	Máquina de tejido de punto de William Lee (1589) Sistema de impulsión de la "lanzadera" de J. Kay (1733) Rodillos de estirado de Lewis Paul y John Wyatt (1738). "Spinning Jenny" de James Hargreaves (1767) "Water Frame" de Richard Arkwright (1769) Máquina de vapor de James Watt (1769) "Spinning Mule" de Samuel Crompton (1779) Primer telar mecánico de Richard Cartwright (1784) "Desmotadora" de algodón de Eli Whitney (1794) Hiladora "Selfactina" (1793-1825) Telar de Jean Marie Jacquard (1804) "Ring Spinning" o hiladora continua "de anillos" (1825) Fibras artificiales o "Rayones" (1846-90) Primer colorante sintético: "mauveína" de W. Perkins (1854) Telar automático de Northrop (1890-94)
Contemporánea	1900 en adelante	Primer fibra sintética: el "nylon" de W.A.Carothers (1935) Primeras producciones de hilado de poliéster (1939-44) Primer sistema de hilatura "open-end" (1967) Aplicación de la informática, la automatización y la robótica en la industria textil

11.0.0- APÉNDICE

11.1.0 - LAS MÁQUINAS DE VAPOR

Los grupos humanos del Paleolítico contaban solo con su propia fuerza muscular para realizar sus actividades. Recién en el Neolítico se comienza a utilizar la fuerza muscular de los animales domesticados empleándolos para arar la tierra y transportar cargas. Con el desarrollo de poleas y engranajes se comienza a utilizar la fuerza animal para la molienda de granos. También la fuerza del viento fue empleada tempranamente para impulsar embarcaciones a velas y para mover molinos o elevar agua a cierta altura. El momento en que aparecen los primeros molinos a viento y los hidráulicos, movidos por corrientes de agua como arroyos y ríos, no se conoce con precisión, pero hay pruebas de su existencia en Oriente Medio y en el norte de Europa alrededor del siglo VII.

El gran cambio se produce en el siglo XVIII con el desarrollo de máquinas capaces de utilizar el poder expansivo del vapor de agua⁸. **Hero de Alejandría**, en el siglo III AC, había ideado una esfera de bronce, dentro de la que se producía vapor de agua que al salir a través de dos tubos opuestos, generaba un par de fuerzas que hacía girar la esfera (ver Figura 1.94). Esta máquina no pasó de ser un juguete al que, a veces, se le atribuía cierto carácter mágico. Recién cuando **James Watt**, en 1763, desarrolla su máquina de vapor - basándose en los trabajos previos de **Denis Papin** (1647-1714), **Thomas Savery** (1650-1715), y **Thomas Newcomen** (1663-1729) - resulta posible utilizar, en forma eficiente y en grandes proporciones, la energía química contenida en los combustibles fósiles (primero el carbón y luego el petróleo). Se inicia así para la Humanidad un periodo de cambios sociales profundos conocido como **Revolución Industrial**.



Figura 1. 94 - La Aeópila o Eópila de Herón de Alejandría

⁸ Un volumen de agua pasa a ocupar, aproximadamente, un volumen 1800 veces mayor, cuando a presión atmosférica, se transforma en vapor.

11.1.1 - DENIS PAPIN, 1647-1714

La historia de las primeras máquinas de vapor requiere algunos cometarios previos sobre la evolución de las ideas sobre la presión atmosférica. En 1644 Evangelista Torricelli (1608- 1647) realizó un sencillo experimento con el que demostró que la presión atmosférica se compensaba con la ejercida por una columna de mercurio de 760 milímetros de altura o la ejercida por una columna de agua de 10,33 metros. En 1654, Otto Von Guericke (1602 - 1686), con su famoso experimento de Magdeburgo, hizo una espectacular demostración de la inmensa fuerza que la atmósfera podía ejercer. Mostró que dos hemisferios de bronce, huecos y de 50 centímetros de diámetro - ajustados de manera que formasen una esfera dentro de la que se hizo el vacío - fue imposible separarlos a pesar que de cada uno de ellos tiraron ocho caballos. En otro experimento construyó un émbolo o pistón capaz de moverse dentro de un cilindro que, por encima del émbolo estaba en contacto con la atmósfera. Si con el émbolo ubicado en la parte superior del cilindro, se creaba vacío por debajo del émbolo, la fuerza de varios hombres no podía impedir que la presión atmosférica empujase el émbolo nuevamente al fondo del cilindro. Tales experimentos condujeron a la idea de que si se lograba crear ese vacío repetidas veces, se podría utilizar la presión atmosférica como una fuente de energía. Esta idea se utilizó para la construcción de las primeras máquinas de vapor llamadas, por este motivo, **atmosféricas**.

Después de varios intentos con distintos sistemas para conseguir el vacío necesario, **Denis Papin** fue el primero en utilizar el vapor de agua para este fin. En 1687 publica un trabajo titulado "Nouvelle manière pour lever l'eau par la force du feu", en el que describe el funcionamiento básico de su máquina, consistente en un cilindro vertical en el que penetra vapor de agua por encima del émbolo que es desplazado hacia abajo lo que le permite empujar y elevar un volumen de agua a un nivel superior. Abriendo y cerrando las válvulas adecuadas, se permite que la presión atmosférica reponga agua desde el depósito que se quiere elevar, el vapor por encima del émbolo se purgue y un nuevo ciclo comience. La máquina de **Papin** fue un gran paso adelante pues demostró que se podía utilizar concertadamente el **vapor de agua** y la **presión atmosférica** para mover un émbolo hacia arriba y hacia abajo en el interior de un cilindro (ver Figura 1.95).

11.1.2 - THOMAS SAVERY, 1650-1715

A finales del siglo XVII, el uso del coque en la metalurgia del hierro acrecentó la demanda de carbón, pues de él se obtenía el coque. Durante la extracción del carbón en las minas inglesas se producían filtraciones de agua subterránea que se acumulaba en el fondo, lo que representaba un grave problema. Era, entonces, necesario desarrollar algún dispositivo para elevar desde el fondo de la mina esa agua y sacarla al exterior. **Thomas Savery** patentó en 1698, un dispositivo con ese fin (Figura 1.97).

La máquina de **Savery** - que fue en un principio llamada "El amigo del minero" - era una ingeniosa bomba de vapor. Sin embargo su uso presentaba el inconveniente de trabajar con altas presiones y esto, con frecuencia, provocaba accidentes.

Componentes de la máquina:

- A - GENERADOR DE VAPOR O RETORTA
- C - ALIMENTACIÓN DE AGUA A LA RETORTA
- F, I - "EMBOLO" SEPARADOR DE AGUA Y VAPOR
- D - CILINDRO DONDE SE DESPLAZA EL EMBOLO
- G - DEPÓSITO DE AGUA QUE SE DESEA ELEVAR
- N - DEPÓSITO DE AGUA ELEVADA
- E, n - GRIFOS DE ADMISIÓN Y SALIDA
- S, T - VÁLVULAS DE RETENCIÓN

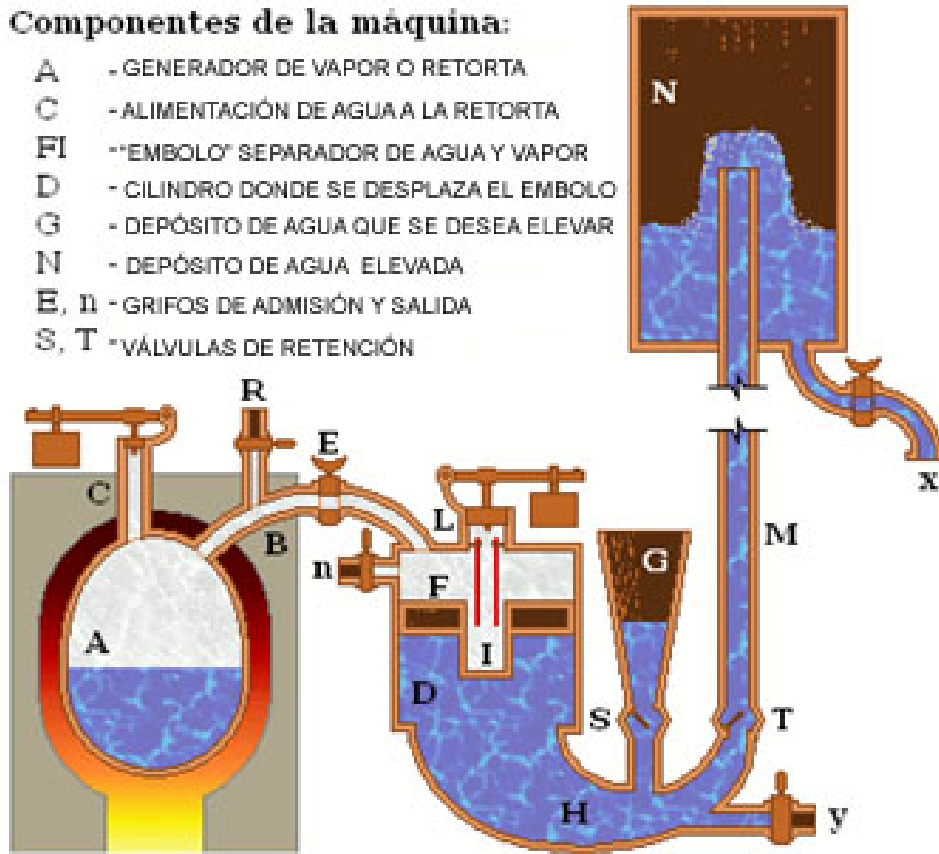


Figura 1.95 - **DISPOSITIVO TÉRMICO DE DENIS PAPIN**

En el dispositivo de Papin el generador de vapor o retorta (A) tiene un tubo (C) por el que se suministra el agua que se transformará en vapor. El tubo (C) posee una válvula de regulación que permite - desplazando un peso a lo largo de la palanca de cierre - regular la presión del vapor en el interior de la retorta. La retorta (A) está dentro de un horno de ladrillo. El aire caliente proveniente de la combustión de carbón sale por la parte superior del horno manteniendo caliente la retorta (A) y el tubo (B).

El tubo (B) comunica la retorta a través del grifo (E) con el cilindro (D) y permite el pasaje del vapor generado en (A). Al entrar vapor al cilindro (D) el movimiento del émbolo (F) hacia abajo, con la válvula (S) cerrada, desplaza y eleva unos 90 litros de agua. Al abrirse la válvula unidireccional o de retención (S) y cerrarse la válvula también unidireccional (T), el agua desplazada es restituida desde el depósito (G), donde está el agua que se desea elevar hasta (N).

El émbolo (F) es hueco lo que le permite flotar en el agua por lo que desde un punto de vista mecánico este émbolo no es tal si no un mero separador de agua y vapor. En su centro tiene una depresión cilíndrica (I) cuyo propósito es dejar espacio para introducir unas barras de acero al rojo para mantener el vapor caliente. El ciclo de dos etapas se controla mediante los grifos (E) y (n) y las válvulas automáticas (S) y (T). Con ambos grifos cerrados y el émbolo (F) arriba, se abre (E) y entra vapor desde la retorta (A). El émbolo (F) baja, impulsando y elevando el agua a través del tubo (M) hasta el depósito (N), a través de la válvula (T) que se abre hacia arriba por la presión del agua. Con el émbolo (F) abajo, se cierra el grifo (E) y se abre el grifo (n) para evacuar el vapor del cilindro. La válvula (T) se cierra por el peso de la columna de agua impidiendo el retorno de la misma desde (N). Al mismo tiempo se abre la válvula (S) reponiéndose agua desde (G) - **empujada por la presión atmosférica** - y el émbolo (F) vuelve a subir hasta su posición superior inicial. Esta máquina también se utilizó para elevar el agua que se depositaba en el fondo de las minas de carbón. Podía también ser utilizada para mover un molino hidráulico o para cualquier otro uso.

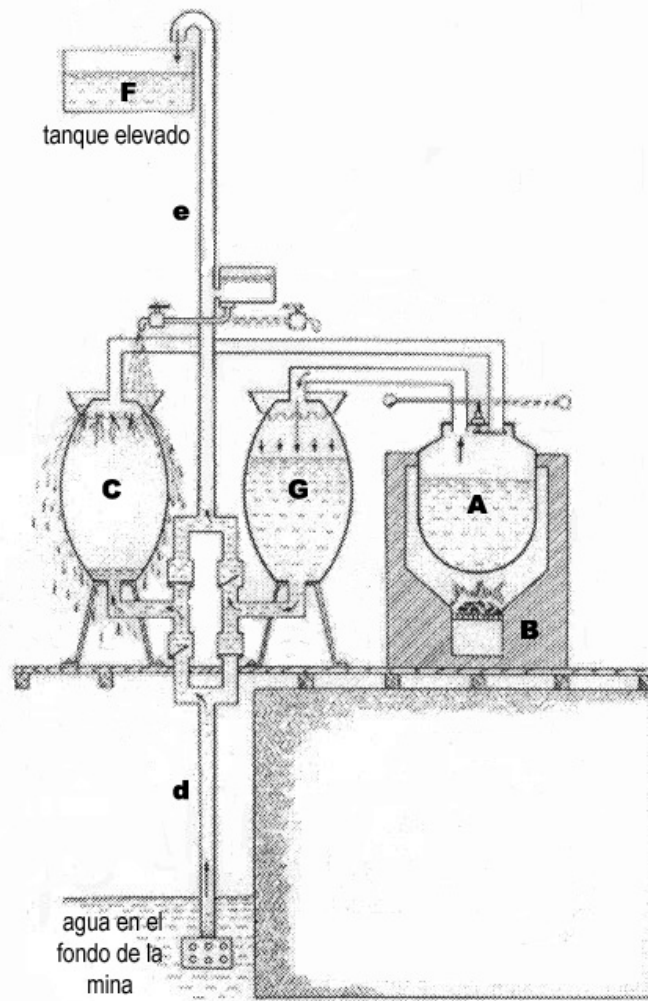


Figura 1.96 - DISPOSITIVO TÉRMICO DE THOMAS SAVERY

En el dispositivo de **Thomas Savery** (ver Figura) se generaba vapor en una caldera (A) colocada dentro de un horno de ladrillos (B), donde se quemaba carbón. El vapor generado en (A) pasaba a un tanque (C) que estaba conectado al fondo inundado de la mina por un tubo (d). Una vez que (C) se llenaba de vapor, se le refrigeraba externamente con una ducha de agua fría lo que hacía que el vapor condensara, **generando vacío** en el interior de (C), lo que a su vez hacía subir agua por (d) desde el fondo de la mina. El agua ascendía por (d) impulsada por la **presión atmosférica** y por tanto la altura entre el dispositivo y el fondo de la mina, a donde bajaba el tubo d, no podía ser mayor a 10,33 metros. Una vez que (C) estaba lleno de agua, se inyectaba nuevamente vapor que por su presión desplazaba y hacía subir el agua por (e) hasta el depósito elevado (F) (a una altura aproximada de unos 20 metros). Se disponía de un (según)do tanque (G) que permitía un trabajo alterno: mientras uno de los tanques se llenaba de agua desde el fondo de la mina, el otro (previamente ya lleno de agua) recibía vapor que elevaba el agua al depósito (F). Estos movimientos de vapor y agua estaban sincronizados con la apertura y cierre de **válvulas de retención** que permitían el pasaje de los fluidos en una sola dirección. En este dispositivo de bombeo no había ningún pistón ni partes mecánicas móviles, excepto las válvulas de retención y los grifos. En él se utilizaba tanto la presión del vapor de agua como la presión atmosférica que se ejercía cuando el vapor condensaba y producía un vacío parcial en (C) o (G).

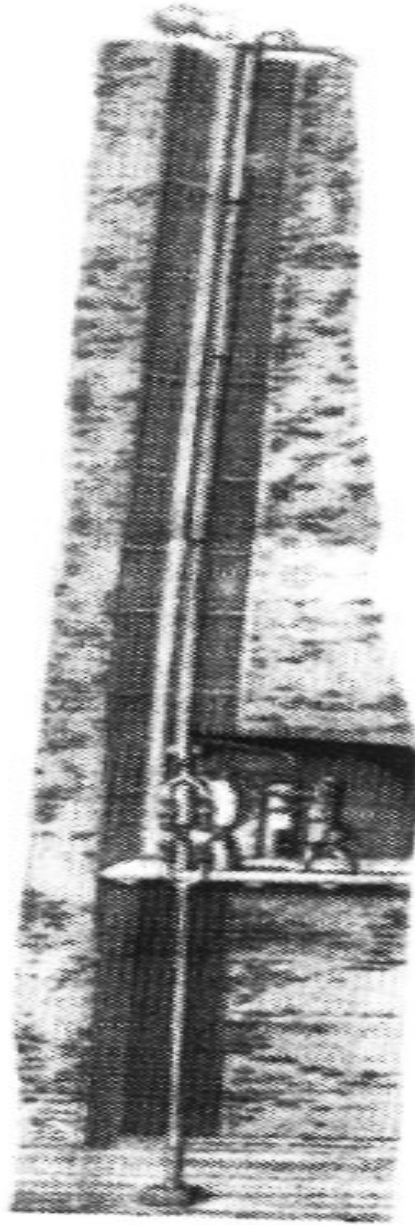


Figura 1.97

*La altura entre el fondo de la mina y el dispositivo de Thomas Savery debía ser menor a 10,33 metros, lo que ya se sabía desde las investigaciones de Evangelista Torricelli (1608-1647) y Blaise Pascal (1623-1662), pues esta era la altura de agua que compensaba la presión atmosférica a nivel del mar. Esa altura debía ser menor que 10,33 metros de agua pues el vacío producido - en los tanques C y G del dispositivo- no era absoluto. Por otra parte, la presión del vapor de agua que se inyectaba en C y G podía elevar agua, como máximo, a una altura del orden de los 20 metros. En consecuencia el dispositivo de Thomas Savery no podía extraer agua de profundidades mayores a aproximadamente **30 metros**. Además, debido a la rotura frecuente de los caños, - que no resistían la presión del vapor - hizo que "el amigo del minero", como se le llamó al dispositivo, no fuera en realidad muy usado en las minas. Se usó sí, en cambio, para elevar agua a los pisos altos de los edificios de Londres.*

11.1.3 - THOMAS NEWCOMEN, 1663-1729

Los dispositivos térmicos de **Papin** y **Savery** eran “**máquinas atmosféricas**”, ya que la presión atmosférica actuaba - para reponer agua en la máquina de **Papin** o empujar hacia abajo el pistón en la de **Savery** - contra el vacío producido por la condensación de vapor. Además de peligrosas no eran suficientemente potentes ni baratas como para cumplir con las demandas que se estaban produciendo.

Para eliminar estos problemas, unos años después, entre 1705 y 1725, a **Thomas Newcomen** que había trabajado para **Savery**, se le ocurrió utilizar la fuerza de vapor para **mover a distancia** una bomba impelente colocada en el fondo del pozo de drenaje de la mina. Si se conseguía accionar a distancia el brazo de la bomba de achique, sin necesidad de colocar la máquina en el interior de la mina - y sin utilizar grandes presiones de vapor - se reducirían sensiblemente los riesgos de explosiones. Esta máquina también puede considerarse atmosférica pero era mejor que la de **Savery** (ver Figura 1.96)

La máquina de **Savery** no era más que una bomba de vapor mientras que la máquina que desarrolló **Newcomen** era un **motor de combustión externa** que convertía calor en energía mecánica. Las ventajas de esta máquina, desde el punto de vista práctico, eran tantas que rápidamente sustituyeron a la de **Savery**. A finales de la década de 1710 prácticamente todas las minas de carbón de Gran Bretaña tenían instalados los sistemas de bombeo de **Newcomen**, exportándose, en los años siguientes, a las colonias americanas y a otros países europeos.

Sin embargo el trabajo de **Newcomen** para el desarrollo de su máquina de vapor fue fundamentalmente empírico, fruto de la habilidad, experiencia y conocimientos adquiridos mientras fabricaba componentes para las bombas de **Savery**. El hecho de que el sistema de bombeo de **Newcomen** no estuviera basado en fundamentos teóricos hizo que las máquinas tuvieran eficacias muy dispares, dependiendo de los tamaños relativos de los componentes que lo conformaban. Como consecuencia de esto, **John Smeaton** estudió teórica y experimentalmente las dimensiones más adecuadas para la máquina, determinando que los cilindros debían ser de mayor longitud y las calderas más grandes y en 1774 construyó, en Long Benton, la primera máquina mejorada de acuerdo a sus estudios.

Si bien la máquina de **Newcomen** (Figura 1.98) se utilizó extensivamente en los distritos mineros de Inglaterra y se exportó a otros países europeos, **el elevado consumo de combustible** que requería su funcionamiento dificultó su aplicación en otras actividades industriales. El elevado consumo de combustible se debía a que cuando el vapor, dentro del cilindro, elevaba al máximo el pistón que movía el brazo de la bomba, se inyectaba agua fría directamente dentro del cilindro con lo que el vapor condensaba y se producía un vacío que hacía bajar nuevamente el brazo de la bomba. Esto producía un gran enfriamiento del cilindro que debía ser calentado nuevamente en el ciclo siguiente, lo que requería un mayor consumo de combustible. De todas maneras, la máquina de **Newcomen** fue el gran antecedente para que, en 1763, **James Watt** desarrollara una máquina más eficiente y económica (Figuras 1.99 y 1.100). A pesar de sus inconvenientes, la máquina de **Newcomen** se seguiría construyendo y utilizando aún después de la invención de **James Watt**.

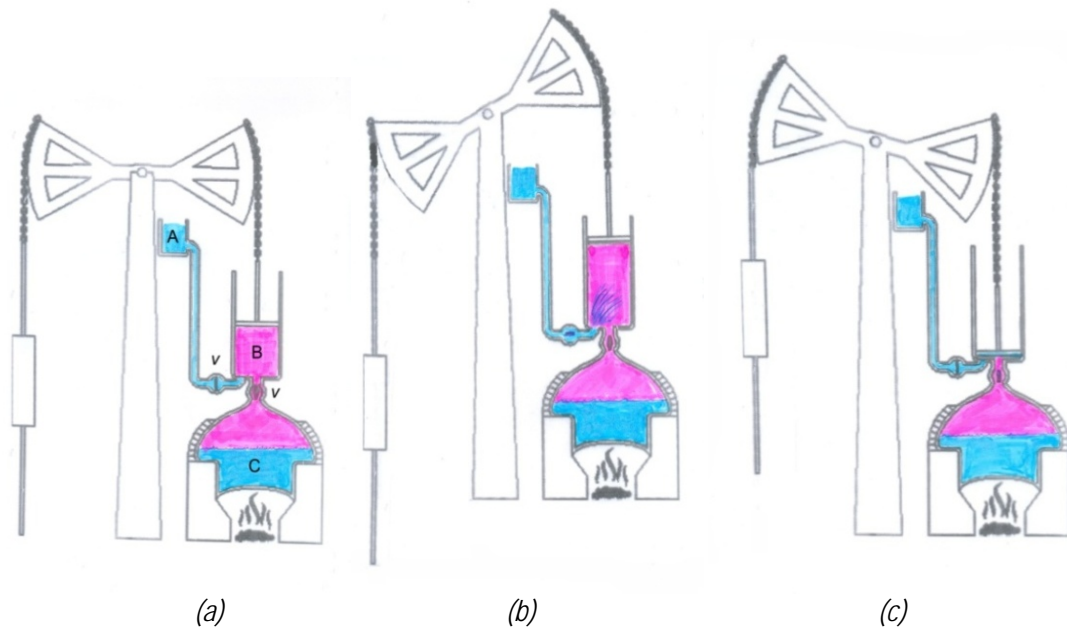


Figura 1.98- MÁQUINA DE THOMAS NEWCOMEN

El funcionamiento de las máquinas de Savery y Newcomen era similar: ambas creaban el vacío en un depósito a base de enfriar vapor de agua. Pero, en la máquina de Savery era el propio vacío del depósito el que elevaba el agua del fondo de la mina, mientras que en la máquina de Newcomen el vacío que se creaba en el cilindro **B** hacía que **la presión atmosférica** empujase el pistón hacia abajo tirando del balancín, el que a su vez tiraba de la barra con contrapeso hacia arriba.

Al llenarse nuevamente el cilindro con vapor producido en la caldera **C**, el pistón subía, el balancín era empujado hacia arriba y la barra con contrapeso bajaba. Cuando el pistón dentro del cilindro, empujado por el vapor, llegaba al final de su recorrido se inyectaba agua fría desde **A** directamente dentro del cilindro con lo que el vapor condensaba y se producía vacío. En consecuencia el pistón bajaba y el ciclo se repetía. Las válvulas de retención se abrían o cerraban alternativamente, dejando pasar agua o vapor según el caso.

Este movimiento de vaivén del balancín y de la barra con contrapeso accionaba una bomba alternativa que extraía agua del fondo de las minas. Se conseguían hasta 10 o 12 golpes por minuto. De esta manera conseguía accionar el brazo de la bomba de achique a distancia, sin colocar la máquina en el interior de la mina y sin usar grandes presiones, reduciendo el riesgo de explosiones en la mina. El calentamiento y enfriamiento sucesivo del cilindro **C** no solo producía roturas sino que además representaba una importante pérdida energética que hacía que el rendimiento de la máquina fuera bajo.

11.1.4 - LA MÁQUINA A VAPOR DE JAMES WATT, 1736-1819

Pocos años después de que **Smeaton** presentara las mejoras de la máquina de **Newcomen**, un ingeniero escocés de nombre **James Watt** presentó una serie de mejoras todavía más revolucionarias, al idear que el vapor condensara en una cámara diferente a la del pistón y que el pistón fuera empujado por el vapor tanto en sentido ascendente como descendente. Con estas mejoras, la eficacia y rendimiento de la máquina mejoró notablemente, pues ahora el cilindro del pistón se mantenía siempre caliente, reduciendo el consumo de carbón.

Otra gran mejora que introdujo **James Watt** - y que supuso la consagración de la máquina de vapor como motor térmico - fue una adaptación mecánica que permitió que el movimiento vertical, provocado por el ascenso y descenso del pistón, se convirtiera, por medio de una **biela**, de movimiento rectilíneo en movimiento circular (ver Figuras 1.99 y 1.100). Este movimiento circular transmitido por un eje, podía a su vez, a través de poleas o engranajes, poner en movimiento otras máquinas ubicadas a cierta distancia de la máquina a vapor. Nunca antes el hombre había contado con una máquina que le suministrara energía en forma confiable, sin recurrir a su propia fuerza ni a la de los animales.

Fue así que en 1774 con la ayuda financiera de **Matthew Boulton**, un fabricante de Birmingham, la máquina de **James Watt** comenzó a difundirse y a encontrar aplicaciones diferentes a la simple elevación o bombeo de agua. En poco tiempo las máquinas de hilar y los telares mecánicos, recientemente inventados, comenzarían a ser movidos por la energía del vapor generado en las calderas de las nuevas unidades productivas o "fábricas". La primera hilandería textil que utilizó vapor para mover sus máquinas se instaló en 1785, en Popplewick, Nottinghamshire. Pronto le seguirían otras hilanderías y tejedurías.

Hacia 1800 la máquina a vapor era ya un producto comercial y la firma Watt & Boulton tenía, debido a las patentes y a su habilidad comercial, casi el monopolio en toda Europa. El precio era fijado según la cantidad de caballos que podía remplazar, de donde salió luego el término horsepower. El constante perfeccionamiento de estos motores, dio lugar a que en 1807 **Robert Fulton** y en 1814 **George Stephenson** presentaran los primeros barcos y locomotoras a vapor, lo que permitió un desarrollo revolucionario del transporte mediante vehículos autopropulsados dando lugar a los mayores emprendimientos comerciales del siglo XIX.

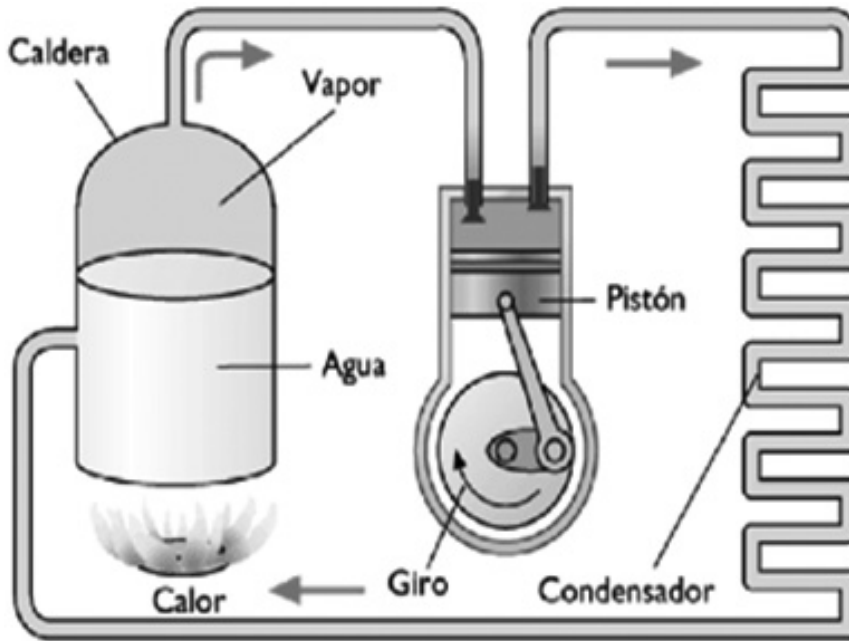


Figura 1.99

ESQUEMAS DE LA MÁQUINA DE VAPOR DE JAMES WATT.

En 1784, James Watt inventa la biela y el cigüeñal para transformar el vaivén de un pistón en un movimiento circular.

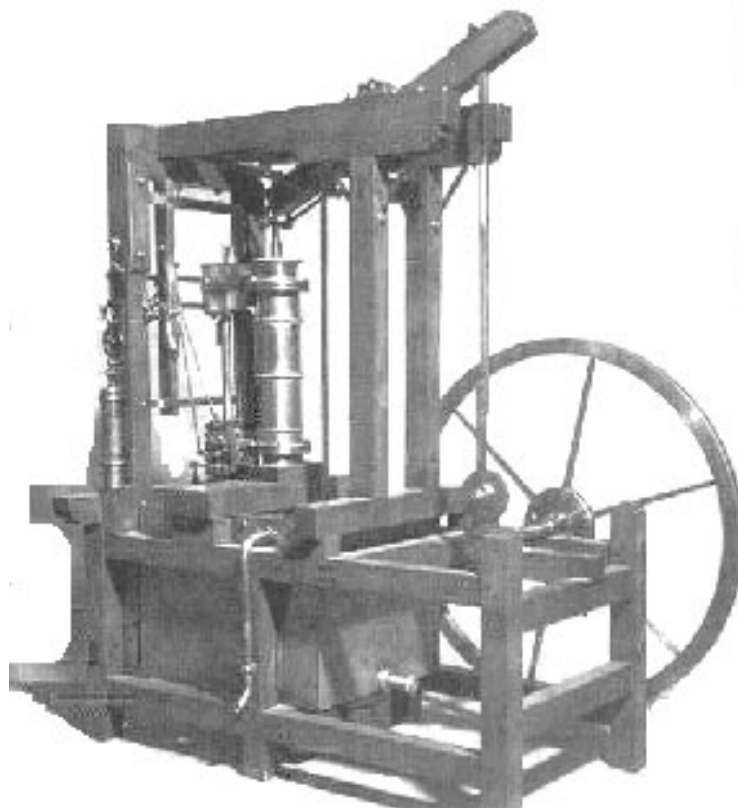


Figura 1.100

Máquina de James Watt modificada para la transmisión del movimiento giratorio

12.0.0- BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Evolución", Scientific American, Ed. Labor, Barcelona, 1979
- 2- "Introducción a la Antropología General", Marvin Harris, Alianza Editorial, Madrid, 1981.
- 3- "Una Historia Inacabada del Mundo"(L 2, c.5; L.4, c.1), Hugh Thomas, Grijalbo, 2001
- 4- "A History of Technology". Edited by Charles Singer, E.J.Holmyard and A.R.All, Oxford at the Clarendon Press, London, 1954.
- 5- "The History of Invention". Trevor I.Williams. McDonald & Co. (Publ.)Ltd., London,1987
- 6- "The Age of Manufactures 1700 – 1820", Berg, Maxine, (Routledge, 1994)
- 7- "The Silk Industry of the UK", Warner, F, (1921)
- 8- "The Loom and the Spindle: Past, Present and Future". Luther Hooper. Annual Report Smithsonian Institution, Washington,1914.
- 9- "Looms and Weaving", Anna Benson and Neil Warburton, Shire Publications Ltd., UK
- 10- "Women's Work. The First 20000 Years", Elizabeth Wayland Barber, W.N.Norton and Co., New York, 1994
- 11- "Textile in Biblical Times", CIBA Review.1968/2, CIBA Ltd., Basilea, 1968
- 12- "William Lee and his Knitting Machine", R.L.Hills, J.Text.Inst., 1989, 80, No. 2
- 13- "James Watt and the History of Steam Power", B.Taylor, Macmillan, London, 1957
- 14- "The Industrial Revolution", I.S.Ashton, Oxford University Press, London, 1948
- 15- "The Evolution of Mills and Factories". CIBA Review, 1968/1. CIBA Ltd., Basilea, 1968
- 16- "Las Claves de la Revolución Industrial". Siro Villas Tinoco. Ed. Planeta, Barcelona, 1990
- 17- "La Guerra Secreta por el Algodón", Anton Zischka, Ed. Claridad, Bs.As.,1940, No.2
- 18- "The Folk Art of Latin America", Marion Oettlinger, Dutton Studio, Books, N.Y. 1992
- 19- "Eli Whitney Cotton Gin", The Bettmann Archive.
- 20- "The Textile Arts", Verla Birrel. Harper and Row Publishers, N.Y., USA, 1959
- 21- "Manual de Calidad". A. Blanton Godfrey, Joseph M. Juran, Mcgraw-Hill, 2001
- 22- "Armas, Gérmenes y Acero". Jared Diamond. DeBolsillo, 2010

13.0.0- ALGUNOS MUSEOS QUE MERECE SER VISITADOS

- 1- "Museum of the Lancashire Textile Industry", Helmshore, Nr. Haslingden, UK.
- 2- "Quarry Bank Mill", Styal, Cheshire, UK.
- 3- "Trefriw Woollen Mills", Gwynedd, UK.
- 4- "Ulster Museum", Belfast, Northern Ireland.
- 5- "Paisley Museum Art Gallery, Kelvingrove Park, Glasgow, UK.
- 6- "Derby Industrial Museum, Derby, U.K.
- 7- "Musee Textile", Lyon, Francia
- 8- "Museo Tecnológico", Munich, Alemania.
- 9- "Musée National du Lin", Kortrijk, Bélgica.
- 10- "Smithsonian Institution", Washington, D.C., USA.
- 11- "Museum of American Textile History", Massachusetts, USA.
- 12- Museo Textil de Terrassa, Terrassa (Barcelona), España.

CAPITULO II

FIBRAS TEXTILES



Imagen reproducida por cortesía de la "American Fiber Manufacturers Association"

CONTENIDO**PÁGINA**

1. 0. 0- INTRODUCCIÓN.....	2
2. 0. 0- PROPIEDADES MORFOLÓGICAS.....	14
2. 1. 0- El diámetro aparente de las fibras.....	14
2. 2. 0- Equipos para la medición del diámetro aparente de las fibras textiles.....	19
2. 3. 0- La “densidad lineal” de una fibra.....	22
2. 4. 0- Microfibras y microfilamentos.....	24
2. 5. 0- La medición de la longitud de las fibras textiles.....	28
2. 6. 0- El rizo de las fibras textiles.....	43
2. 7. 0- La forma de la sección de las fibras textiles.....	43
2. 8. 0- La rugosidad superficial de las fibras textiles.....	43
3. 0. 0- COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA QUÍMICA.....	45
3. 1. 0- Las moléculas poliméricas.....	45
3. 2. 0- Atributos de los conjuntos de moléculas poliméricas.....	48
3. 3. 0- Polímeros termoplásticos y termofraguantes.....	56
3. 4. 0- Polimerización por adición y por condensación.....	56
3. 5. 0- Temperaturas de transición.....	57
4. 0. 0- HIGROSCOPICIDAD.....	60
4. 1. 0- La absorción de humedad y las temperaturas de transición.....	62
4. 2. 0- La absorción de humedad de las fibras textiles es exotérmica.....	63
4. 3. 0- El confort de los artículos de lana.....	66
4. 4. 0- Super Absorbentes.....	66
5. 0. 0- PROPIEDADES MECÁNICAS.....	68
5. 1. 0- Deformación de cuerpo elástico.....	68
5. 2. 0- El Diagrama esfuerzo/ deformación (Γ vs. ϵ).....	69
5. 3. 0- Comportamiento elástico y plástico.....	70
5. 4. 0- El Diagrama esfuerzo/ deformación de las fibras textiles.....	71
5. 5. 0- Diagramas de fuerza y extensión vs. tiempo.....	76
6. 0. 0- PROPIEDADES ELÉCTRICAS.....	78
7. 0. 0- PROPIEDADES TÉRMICAS.....	79
8. 0. 0- ALGODÓN.....	81
9. 0. 0- LINO.....	87
10.0.0- OTRAS FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL.....	89
11.0.0- LANA.....	99
12.0.0- SEDA.....	111
13.0.0- OTRAS FIBRAS DE ORIGEN ANIMAL.....	118
14.0.0- FIBRAS MINERALES.....	128
15.0.0- FIBRAS ARTIFICIALES.....	129
16.0.0- FIBRAS SINTÉTICAS.....	135
17.0.0- FIBRAS SINTÉTICAS DE ALTAS PRESTACIONES.....	143
18.0.0- FIBRAS NATURALES VS. FIBRAS QUÍMICAS.....	151
19.0.0- LA MEZCLA ALGODÓN / POLIÉSTER.....	153
20.0.0- RECONOCIMIENTO DE FIBRAS.....	159

1.0.0- INTRODUCCIÓN

Podemos definir a un *"textil"* como un artículo hecho de **fibras textiles**, ya sean estas naturales, artificiales y/o sintéticas. De acuerdo a esta definición, los hilados, los hilos, las mechas, las cuerdas y las telas, así como todos los artículos hechos con ellos, serían entonces *"textiles"*.

Pero, ¿qué es una fibra? Una fibra es un cuerpo sólido, de forma aproximadamente cilíndrica, relativamente flexible, macroscópicamente homogéneo, con una muy alta relación de sus dimensiones longitudinales a sus dimensiones transversales y con una pequeña sección transversal cuyo diámetro aparente es del orden de los micrones.

*Pero, una fibra textil, ¿qué es? Es toda fibra que pueda ser hilable. ¿Y qué significa que pueda ser hilable? Significa que, con otras fibras de la misma naturaleza, sea capaz de formar un conjunto en el que todas se encuentren más o menos **paralelizadas entre sí**. Este conjunto, que generalmente recibe el nombre de *"mecha"* o *"cinta"*, debe estar en condiciones de ser **estirado** y recibir **torsión**, sin perder cohesión, para que de esa manera se convierta en un **hilado**. Pero para ser **hilables** las **fibras textiles** deben tener - además de **las características generales comunes a toda fibra**, mencionadas arriba - una alta **resistencia a la tracción** y, especialmente en el caso de las **fibras discontinuas** (ver más adelante), un **alto índice de fricción fibra / fibra**.*

En las fibras naturales, como p.ej. la lana y el algodón, la **rugosidad superficial** de sus cutículas externas asegura un alto **índice de fricción fibra/fibra**. En el caso de las fibras hechas por el hombre se logra rugosidad superficial dándole a sus secciones transversales formas diferentes a la de un círculo perfecto (ver 1.2.0).

Por otra parte, la **resistencia a la tracción** de las fibras textiles es consecuencia de que todas ellas están constituidas por **polímeros lineales de muy alto peso molecular** (ver Sección 230, *"Estructura Química"*). Si la fibra no posee estas dos propiedades fundamentales, **resistencia a la tracción** y **rugosidad superficial**, no será apta para calificar como *"fibra textil"* y no podrá formar parte de un hilado textil¹.

Entonces, con fibras textiles **paralelizadas** entre sí podemos formar una *"mecha"* y luego - *si se trata de fibras discontinuas* - **estirando** esa *mecha* e **insertándole torsión**, obtendremos **"hilados"** (de diferentes tipos, finos y gruesos, con más o menos torsión, etc.) que, luego, debemos **bobinar**. El **paralelizado**, el **estirado**, la **inserción de torsión** y el **bobinado** son, entonces, **las cuatro operaciones básicas de la hilatura de fibras discontinuas** (ver en 1.1.0 la diferencia entre fibras discontinuas y fibras continuas o filamentos).

Reuniendo varios *"hilados"* e insertándoles **retorsión** obtendremos un *"hilo"*. Entrelazando hilados y/o hilos obtenemos **"tejidos"** que, de acuerdo al procedimiento de **tejeduría** que utilicemos, serán **"tejidos planos"** o **"de punto"**. Y con **fibras, hilados, hilos y tejidos** se elabora toda la vasta variedad de artículos textiles. En las *Tablas 2.1 y 2.2* se muestra, en forma general y resumida, la diversidad de artículos textiles que existen actualmente.

¹Por ejemplo, las soluciones concentradas de azúcar pueden formar, al enfriarse, fibras continuas o filamentos que enredadas en un palito forman una golosina infantil, el *"algodón de azúcar"*. Esos filamentos o fibras continuas, aunque pegajosos entre sí, no tienen prácticamente ninguna resistencia a la tracción (ni al agua) y no son adecuadas para un uso textil.

TABLA 2.1

ARTÍCULO TEXTIL <i>(En orden de complejidad creciente)</i>	CARACTERÍSTICAS
FIBRAS	<i>Naturales, artificiales y sintéticas. Continuas y discontinuas</i>
HILADOS	<i>De diferentes títulos, torsiones / metro, S ó Z, regularidad, etc..</i>
HILOS	<i>De diferentes títulos, uno o más cabos, retorsiones / metro (S ó Z)</i>
TEJIDOS	<i>Planos, de punto y "no tejidos" (guatas), teñidos, estampados, etc.</i>
ART. CONFECCIONADO	<i>Vestimenta, artículos para el hogar, industria, etc.</i>

TABLA 2.2

MERCADO	%	TIPO DE ARTÍCULO
VESTIMENTA	47	Prendas de todo tipo, sombreros, hilo de coser, etc., etc.
HOGAR	32	Ropa de cama, cortinas, tapicería, toldos, alfombras (15%), etc.
SALUD	4	Apósitos, vendas, prendas descartables, etc.
TRANSPORTE	4	Neumáticos, tapicería, velas marineras, lonas protectoras, etc.
CONSTRUCCIÓN	4	Techos livianos, geotextiles, etc.
INDUSTRIA	9	Telas para filtros, mangueras, cintas transportadoras, cordeles, etc.

1.1.0- Fibras textiles naturales

La tecnología textil se origina en el *Neolítico*, que comienza aproximadamente, y dependiendo de la región, 5000 a 10.000 años A.C. Al comienzo del *Neolítico* algunos grupos humanos se hacen sedentarios y aprenden a domesticar plantas y animales. De la fabricación de cordeles deriva la hilandería; de la técnica de hacer cestos o cestería deriva la tejeduría plana, y en la elaboración de redes de pesca está el germen de la tejeduría de punto (*ver Capítulo I, "Origen y Evolución de la Tecnología Textil*).

Desde ese entonces el hombre utiliza fibras textiles *naturales*, de origen vegetal o animal, para elaborar su vestimenta y para otros diversos usos. Entre ellas se destacan **cuatro** de importancia fundamental: el **algodón**, el **lino**, la **lana** y la **seda** (*ver Figuras 2.1 a 2.4 y Secciones 281 y siguientes de este Capítulo*). Las tres primeras son fibras llamadas "*cortas*" o "*discontinuas*", por comparación con la longitud de la *seda* (*ver Tabla 2.3*), que es un *filamento* o "*fibra continua*" obtenido de capullos de diferentes tipos de gusanos de seda. De las cuatro, el *algodón* es la de mayor consumo, mientras que las otras tres, si bien son muy apreciadas, participan en el mercado mundial en un menor volumen relativo.

FIBRAS TEXTILES NATURALES



Figura 2.1
ALGODÓN



Figura 2.2
LINO



Figura 3.3
LANA



Figura 2.4
SEDA

TABLA 2.3 - DIMENSIONES DE ALGUNAS FIBRAS NATURALES

FIBRA	LARGO mm (*)	DIÁMETRO APARENTE micras (*)	LARGO / DIÁMETRO aparente	TIPO DE FIBRA
SEDA	5 x 10 ⁵	3-20	2,5 x 10 ⁷ – 1,6 x 10 ⁸	continua
LANA	25-250	15-35	1,7-7 x 10 ³	discontinua
ALGODÓN	25-50	12-21	1-4 x 10 ³	discontinua
LINO	9-70	5-35	0,25-14,0 x 10 ³	discontinua

(*) Valores típicos. Las dimensiones de las fibras están sujetas a variación dentro de un entorno característico para cada tipo de fibra. Comparando fibras naturales de un mismo tipo entre sí, los largos y secciones no son constantes. Para una misma fibra la sección tampoco es constante, variando de extremo a extremo. Las dimensiones de las fibras hechas por el hombre tienen, en cambio, menor variación que las naturales.

1.2.0- Fibras textiles artificiales y sintéticas

Alrededor de 1860, como consecuencia de la escasez de algodón que se produce en Europa debido a la "Guerra de Secesión" americana, se aceleran los esfuerzos por desarrollar **fibras artificiales** a partir de un **polímero natural**, la *celulosa de madera*, que en aquel momento era una materia prima relativamente barata y abundante. Es entonces que en los años siguientes, aparecen en el mercado las **fibras artificiales** conocidas como "*rayón cupro*", "*rayón acetato*" y "*rayón viscosa*".

Casi ochenta años después, a partir de 1939, comienzan a aparecer otras fibras hechas por el hombre: las **fibras sintéticas**, obtenidas a partir de **monómeros**, constituidos por moléculas relativamente sencillas en general obtenidas a partir del **petróleo**. Así aparecen las fibras **poliamidas**, las **poliestéricas**, las **acrílicas**, las **olefínicas**, las **poliuretánicas**, etc. A este conjunto de fibras artificiales y sintéticas se les llama "**fibras químicas**" o "**hechas por el hombre**", por contraposición a las **fibras naturales**. (ver Capítulo I, "Origen y Evolución de la Tecnología Textil" y las Secciones 287 y 288 de este Capítulo). Actualmente la producción y la importancia de las **fibras sintéticas** es mayor que las de las **fibras artificiales**, pero esto puede cambiar en el futuro, en función del **precio y disponibilidad del petróleo**.

En general, las **fibras químicas** se producen por: **1)** extrusión del **polímero** en estado de masa viscosa – *resultante esta masa de la fusión del polímero o de su disolución en solventes apropiados* - a través de los múltiples orificios de una "spinirette" y, **2)** solidificando los filamentos así obtenidos por cambio de solvente, por evaporación del solvente o por simple enfriamiento (ver Figura 2.5). En general, los filamentos son sometidos a un fuerte *estiramiento* en frío, de 300 a 1000 veces ("*cold drawing*"), para obtener una buena orientación molecular y un aumento de la resistencia a la tracción del filamento. Pueden también ser sometidos a: **1)** un *tratamiento térmico final* para estabilizar tensiones, **2)** un "*texturizado*" para insertarles rizo que a su vez confiera a los filamentos voluminosidad, elasticidad y tacto parecido al de las fibras naturales y finalmente, **3)** tratamientos con agentes químicos antiestáticos, suavizantes, lubricantes, etc.

La velocidad de producción de filamentos ha pasado en pocos años de 1000 m/minuto a más de 5000 m/minuto a la salida del "spinirette". Es interesante comparar estos valores con las velocidades de entrega de la hilatura convencional con fibras cortas y cortadas en continuas de anillo (R/S), del orden de los 25 m / minuto, y aún con los de la hilatura "open end" (O/E), con velocidades de entrega del orden de los 200 m /minuto (ver Capítulo 4, "Hilatura de Fibras Discontinuas").

TABLA 2.4 - ALGUNOS ARTÍCULOS ELABORADOS CON FIBRAS QUÍMICAS

FIBRA	ARTÍCULO	PROPIEDADES
POLIÉSTER	pantalones, faldas, trajes	resistencia al desgaste, fácil cuidado
	camisas, sábanas	bueno "mano" y tacto
	cortinas	resistencia a la luz, fácil cuidado
POLIAMIDAS ("Nylon")	alfombras	durabilidad, cuerpo, fácil de estampar
	medias de dama	elasticidad, resistencia a la rotura
	refuerzos de neumáticos	tenacidad, durabilidad, adhesión
	equipos de lluvia	durabilidad, elasticidad, lustre
VISCOSA	lencería, forros	lustre, "mano"
	apósitos médicos y sanitarios	absorción de agua
	ropa interior	absorción, "comfort"
	refuerzos de neumáticos	tenacidad, durabilidad, adhesión
ACRÍLICA	tejidos de punto	textura, "cuerpo", variedad de colores,
	tapicería	fácil cuidado
	paños	textura, fácil cuidado, durabilidad
	alfombras	resistencia a la luz, textura, "cuerpo" resistencia, suavidad, durabilidad
POLIPROPILENO	alfombras	resistencia, durabilidad, lavabilidad
	cordeles	resistencia, bajo peso
	tapicería	resistencia mecánica y a la luz
	geotextiles	resistencia mecánica y química

1.3.0- Formas de presentación de las fibras artificiales y sintéticas

- * **FILAMENTO**: fibra cuya longitud se mide en decenas o cientos de metros (*fibra "continua"*).
- * **MULTIFILAMENTO**: hilado constituido por varios filamentos.
- * **CABLE** (*ingl. "tow"*): conjunto de aproximadamente $1,5 \times 10^6$ filamentos.
- * **FIBRA CORTADA** (*ingl. "staple"*): se obtienen cortando cable (*"tow"*) a longitudes que imitan las de las fibras naturales. El método de corte puede ser "*de cable a mecha peinada*" (*"tow to top"*) o por "*estirado y rotura*" (*"stretch breaking"*). En el primer caso se obtienen fibras cortadas y paralelizadas dispuestas en una mecha. En el segundo se obtienen las fibras a granel, por lo que deben empacarse en fardos. A la fibra cortada se les puede insertar "rizo" (*"crimp"*). Se utilizan solas o en mezcla con fibras naturales para producir hilados de fibras "discontinuas".
- * **MECHA** (*ingl. "top"*): conjunto de fibras "cortadas" y relativamente paralelizadas obtenidas por corte de "cable a mecha" (*"tow to top"*). Se pueden utilizar en la hilatura de **sistema peinado** para mezclar con mechas de fibras naturales.
- * **"FLOCK"**: fibras, artificiales o sintéticas, cortadas muy cortas, destinadas en general a ser pegadas en una tela soporte, para producir telas del tipo "terciopelo".
- * **HILADO TEXTURIZADO**: hilado de multifilamentos a los que se les insertó rizado artificial, con lo que adquieren similar extensibilidad, voluminosidad y tacto que los hilados de fibras naturales.

1.4.0- Hilados Texturizados

Debido a la variabilidad de su sección triangular y a sus muy especiales propiedades físicas, la **seda** - la más cara y lujosa de las fibras naturales - permite obtener hilados multifilamento que una vez tejidos dan como resultado telas de texturas sutiles y "manos" atractivas. Cuando a fines del siglo XIX comenzó la producción de **rayón viscosa** y de **rayón acetato**, sus hilados fueron comercializados y promovidos como "**seda artificial**" a pesar de que, salvo por su brillo y por ser

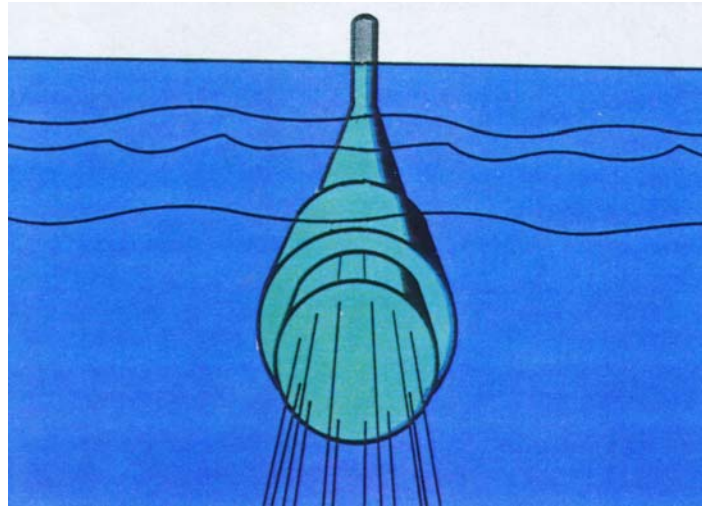
hilados multifilamento, no se le parecen en mucho más. Con estos hilados de filamentos artificiales y sintéticos se obtienen telas densas, carentes de la textura y de la "calidez" de las telas de seda y de las telas tejidas con hilados compuestos por fibras cortas naturales. Por ejemplo, las primeras telas tejidas con hilados multifilamento de nylon eran excelentes para confeccionar paracaídas, pero no para prendas como camisas de hombres, a pesar de que durante un tiempo se usaron también para ese fin.

La primer alternativa lógica fue entonces cortar estos filamentos continuos para hilarlos como fibras "cortadas", solas o mezcladas con fibras naturales. Pero esto era sin duda una alternativa cara: se debía cortar y desorganizar los filamentos para recomponer una mecha de fibras cortadas, que debía luego ser paralelizada, estirada y torsionada y así obtener un nuevo hilado. ¿No habría una manera de insertar rizo a los filamentos para hacer que tuvieran una "mano" similar al de los hilados hechos con fibras naturales?

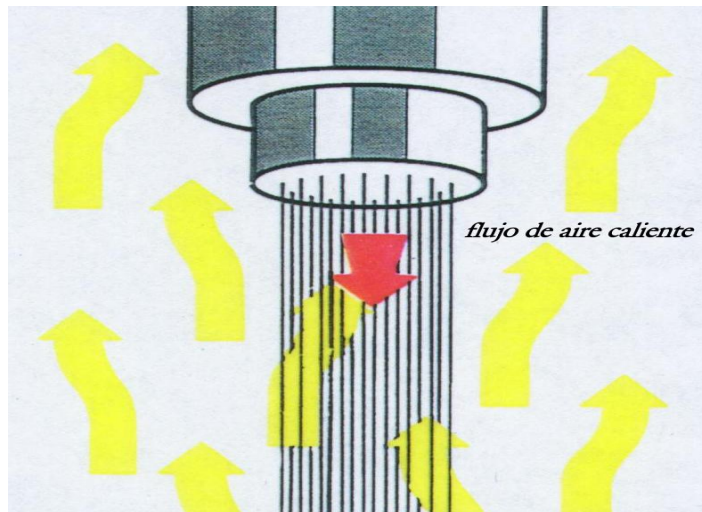
Celanese, en el periodo 1935 a 1940, desarrolló para los hilados multifilamento de acetato, un proceso de "**texturizado**" que consistía en **generar un rizado artificial en los filamentos por aplicación de falsa torsión y fijado térmico**. *Heberlein* desarrolló, en el mismo periodo, un proceso similar para el rayón viscosa. Sin embargo estos procesos no fueron muy exitosos, pues el rizado no era estable y se perdía fácilmente. Fue recién en la década de 1950-60 que se llega al éxito comercial del **texturizado** con el fijado permanente de los hilados multifilamento de nylon. A pesar de su alto precio, los hilados texturizados "*Helanca*" de *Heberlein* tuvieron gran éxito comercial porque tenían una **extensibilidad** del 400% lo que los hacía excelentes para la producción de calcetines de hombre, trajes de baño y prenda con propiedades elásticas.

Otro desarrollo posterior fue el de texturizar hilados con rizos de **gran volumen y mano suave**, pero de relativa poca elasticidad, para elaborar prendas no elásticas o para prendas que, por el tipo de ligamento de la tela, ya son elásticas de por sí como los tejidos de punto. Los hilados poliéster "*Crimplene*" de *ICI* tenían estas características y fueron extraordinariamente exitosos. A partir de esos orígenes los desarrollos de nuevas tecnologías han continuado mejorando procesos y costos. Los hilados texturizados son hoy muy utilizados en la industria textil y existen diferentes métodos para el texturizado de hilados multifilamento. En la *Figura 2.6* se esquematizan alguno de ellos.

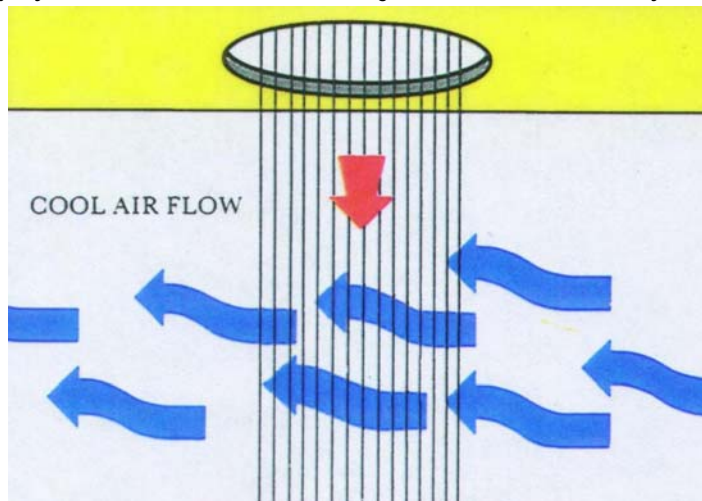
MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTOS ARTIFICIALES Y SINTÉTICOS



HÚMEDO: el polímero en solución coagula y solidifica por cambio de solvente
(Ej. rayon viscosa, rayon cupro, algunas acrílicas, modacrílicas y elastano)



SECO: el polímero en solución solidifica por evaporación de solvente
(Ej. rayon acetato, triacetato, clorofibras, algunas acrílicas, modacrílicas y elastano)



FUSIÓN Y SOLIDIFICACIÓN: el polímero fundido solidifica por enfriamiento
(Ej. poliamidas, poliéster, polietileno, polipropileno)

Figura 2.5 (reproducida con la autorización de la "British Man-Made Fibers Federation")

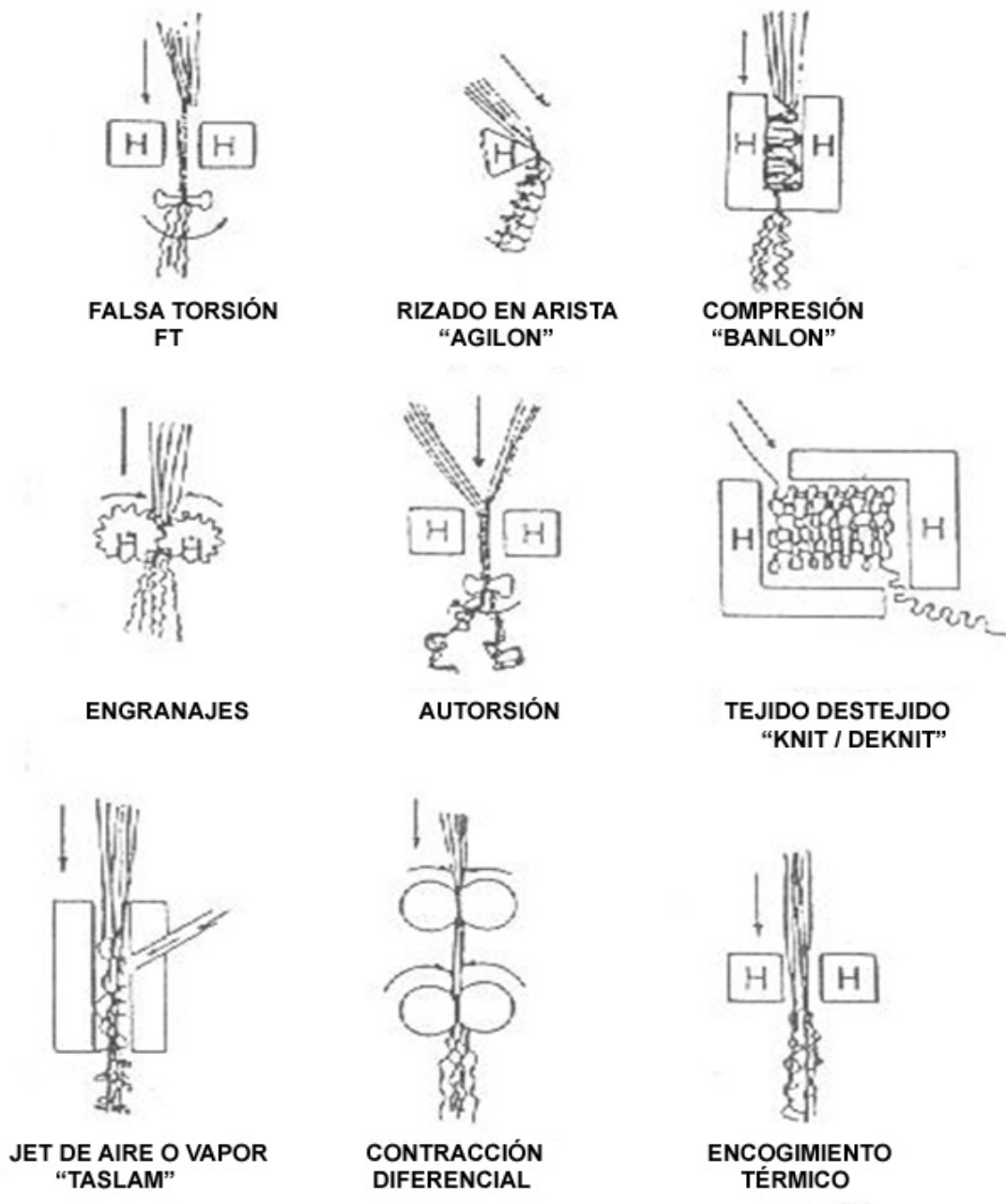


Figura 2.6
DISTINTAS TÉCNICAS DE TEXTURIZADO
 LAS ZONAS DE CALENTAMIENTO ESTÁN SEÑALADAS CON UNA H
(Figuras tomadas de "Fibras Textiles", Dr. Joaquín Gacén Guillén)

TABLA 2.5 - CLASIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES FIBRAS TEXTILES

NATURALES	VEGETALES	semillas	Algodón, Kapok
		fruto	Coco, Ananá
		tallo	Lino, Yute, Cañamo, Ramio, Kenaf
		hoja	Sisal, Manila, Heneguén, Formio, Rafia, etc.
	ANIMALES	fibras y pelos	Lana, Alpaca, Mohair, Vicuña, Camello, etc.
		exudado de larva	Seda
MINERALES	silicatos	Amianto	
QUÍMICAS o hechas por el Hombre	ARTIFICIALES	pulpa de madera	Rayón Viscosa
		pulpa de madera	Rayón Diacetato y Triacetato
	SINTÉTICAS	petróleo	Poliamidas (<i>Nylon</i>) (<i>Antron, Rilsan, etc.</i>)
		petróleo	Poliésteres (<i>Tergal, Dacron, Terylene, etc.</i>)
		petróleo	Poliacrilonitrílicas (<i>Orlon, Dralon, Teklan, etc.</i>)
		petróleo	Polioléfinicas (<i>Trofil, Meraklon, etc.</i>)
		petróleo	Poliuretánicas (<i>Lycra, Dorlastan, Glospan</i>)
		petróleo	Aramídicas (<i>Nomex, Kevlar, Kermel, Twaron</i>)
		petróleo	Cloradas (<i>Rhovil, Clevyl, etc.</i>)
	INORGÁNICAS	silicatos	Lana de vidrio
		metales	Hilos metálicos
otros		Fibras de carbono	

TABLA 2.6 - MEZCLA DE FIBRAS**Aporte que cada fibra haría a las propiedades finales de una mezcla**

(tomado de J.Smithes, Journal of Textile Institute, 50, pág. 598, 1959, menos la columna correspondiente al algodón)

	ALGODÓN	LANA	PES	ACRÍLICA	POLIAMIDA	VISCOSA	ACETATO
<i>Suavidad y "mano"</i>	1	1	3 (*)	2	3 (*)	3	2
<i>Voluminosidad</i>	2	2	3	1	3	3	3
<i>Recuperación al arrugado (65% HR)</i>	4	1	1	2	3	3	2
<i>Recuperación al arrugado (95% HR)</i>	4	3	1	3	3	4	3
<i>Estabilidad al plisado (65% HR)</i>	3 (°)	2	1	1	2	3	3
<i>Estabilidad al plisado en húmedo</i>	4 (°)	4	1	1	4	4	4
<i>Resistencia al encogido</i>	4	4 (°)	1	1	1	4	1
<i>Resistencia al rasgado</i>	3	3	1	3	1	3	3
<i>Resistencia a la abrasión</i>	3	2	1	3	1	3	4
<i>Resistencia a la electricidad estática</i>	1	2	4	3	3	1	3
<i>Resistencia a la fusión</i>	1	1	3	2	2	1	3

1 = excelente, 2 = bueno, 3 = regular, 4 = pobre

(*)Existen tratamientos antiarrugas para el algodón y antiáfeltrantes para la lana que mejoran la performance

(*) Para las microfibras estos valores son más altos



Figura 2.7 - PRODUCCIÓN DE FILAMENTOS

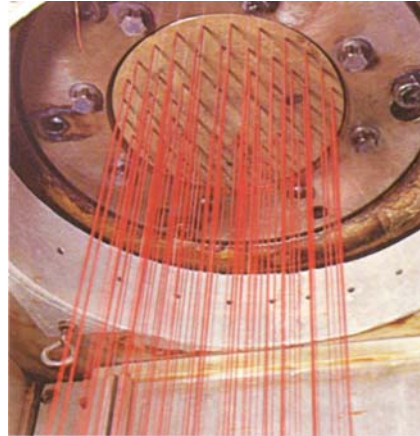


Figura 2.8 - "SPINIRETTE"

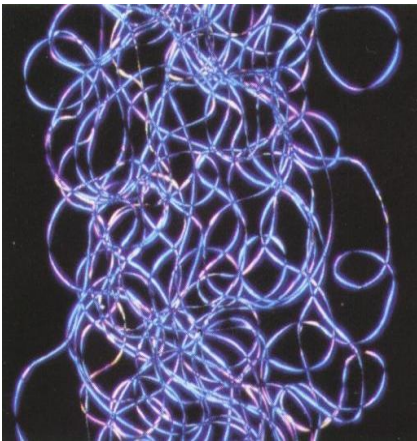


Figura 2.9

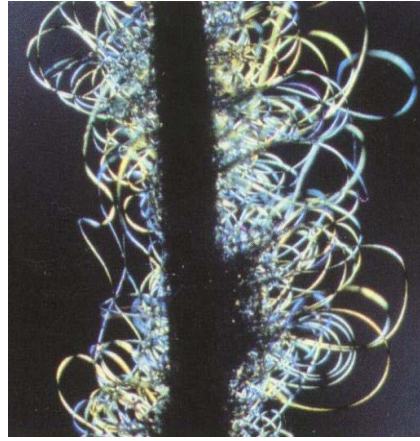


Figura 2.10

MULTIFILAMENTOS TEXTURIZADOS

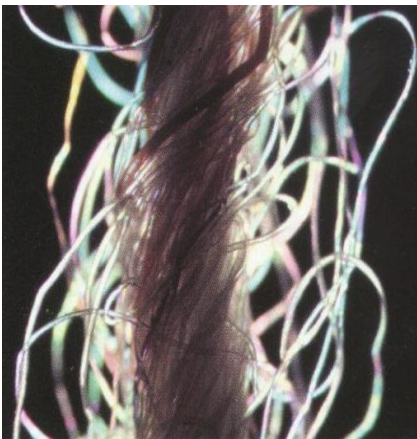


Figura 2.11

HILADO DE MULTIFILAMENTOS



Figura 2.12

HILADOS ARTIFICIALES Y SINTÉTICOS

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FIBRAS TEXTILES

millones de toneladas

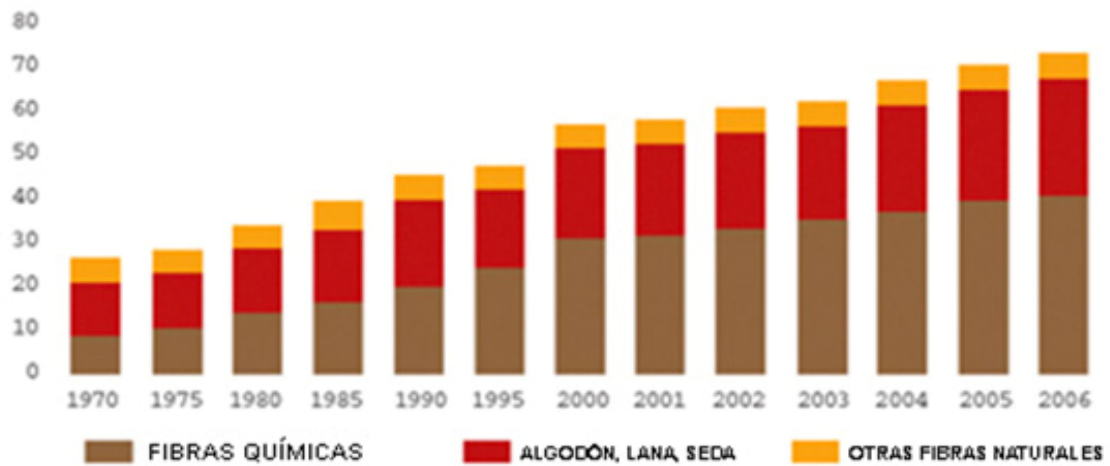


Figura 2.13

Según estimaciones, el consumo mundial de fibras textiles crecerá a una tasa del 2,8% hasta alcanzar 87 millones de toneladas en 2020. Se prevé un crecimiento del consumo mundial de algodón a una tasa media anual del 2% hasta alcanzar 32 millones de toneladas en 2020. De acuerdo con las previsiones, la parte correspondiente al algodón en el mercado mundial de fibras textiles tenderá a la baja hasta situarse en el 37% en 2020.

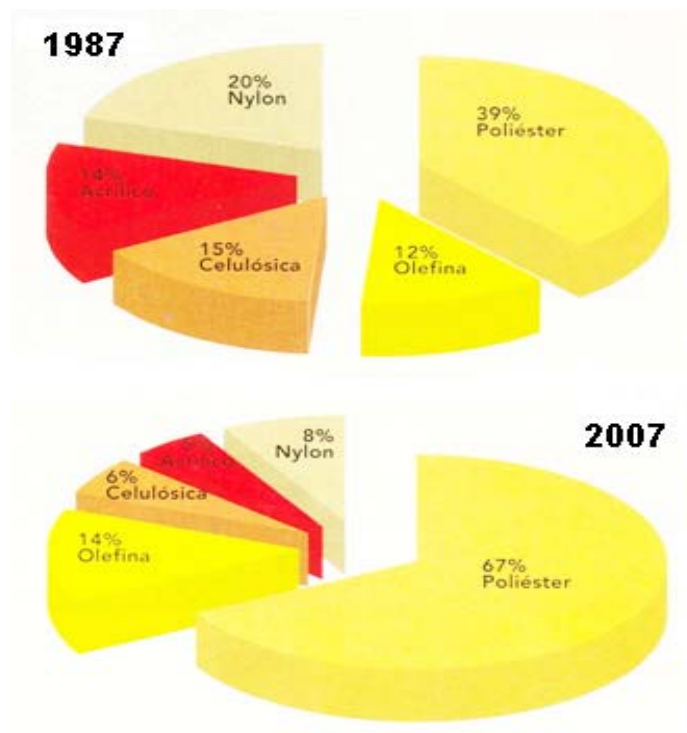


Figura 2.14 - PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FIBRAS QUÍMICAS (Fuente. "Fiber Economics Bureau")
Los datos de esta gráfica muestran la tendencia de crecimiento de la demanda y de la producción de poliéster en relación a las demás fibras químicas.

TABLA 2.9 - PESO ESPECÍFICO DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES
(para las fibras químicas los valores son aproximadamente promedios de varias marcas comerciales)

	<i>g/cm³</i>
ACRÍLICO	1,14 - 1,18
MODACRÍLICA	1,25 - 1,40
ALGODÓN	1,54
ARAMÍDICA	1,38
CARBONO	1,75
CLORURO DE POLIVINILO	1,38
CLORURO DE POLIVINILIDENO	1,70
DIACETATO DE CELULOSA	1,32
ELASTANO (p.ej. LICRA)	1,10
FLUOROFIBRA	2,1 - 2,3
LANA	1,32
POLIAMIDA "(Nylon" 6 y 66)	1,14
POLIÉSTER	1,22 - 1,38
POLIETILENO baja densidad	0,92
POLIETILENO alta densidad	0,95
POLIPROPILENO	0,90
POLIURETANO	1,10 - 1,21
SEDA	1,37
VIDRIO	2,45 - 2,53
VIDRIO	2,54
VISCOSA	1,51
TRiacetato de Celulosa	1,25

TABLA 2.10 - CARACTERÍSTICAS de las FIBRAS TEXTILES

CARACTERÍSTICAS	PRIMARIAS	SECUNDARIAS
<i>MORFOLÓGICAS MACROSCÓPICAS</i>	DIÁMETRO APARENTE (" <i>Finura</i> ") y su CV%	ÁREA TOTAL
	LARGO y su CV%	
	FORMA DE LA SECCIÓN	TACTO y LUSTRE
	RIZO	
	RUGOSIDAD SUPERFICIAL	
<i>MORFOLÓGICAS MICROSCÓPICAS</i>	<i>Presencia de cutículas, fibrillas, microfibrillas, etc. como ocurre en el caso del algodón, la lana y otras fibras naturales</i>	Resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, tenacidad, elongación a la rotura, rigidez, recuperación elástica, densidad, conductividad eléctrica y térmica, higroscopicidad, reactividad química, afinidad por los colorantes, inflamabilidad, resistencia al ataque de insectos y microorganismos, etc.,etc.
<i>QUÍMICO FÍSICAS</i>	COMPOSICIÓN QUÍMICA	
	GRUPOS FUNCIONALES	
	PESO MOLECULAR	
	CRISTALINIDAD	

BIBLIOGRAFÍA

- 1- *"Man-made Fibres"*, R.W.Moncrieff, Jhon Wiley & Sons, Inc. 1957
- 2- *"Man-made Fibers"*, H.Marks, S.M. Atlas, E.Cernia, Interscience Publ., New York, 1967
- 3- *"Handbook of Fiber Science and Technology"*, M. Lewin, E. M. Pearce. M. Dekker, Inc., N.Y 1985
- 4- *"Introducción a los Textiles"*, N. Hollen, J. Saddler, A.L. Langford. Ed. Limusa, México, 1990
- 5- *"Man-made Fibers Encyclopedia"*, J.J. Press Interscience Publishers, N.York
- 6- *"Yarn Texturing Technology"*, J.W.S.Hearle, L.Hollick, D.K.Wilson, Woodhead Publ.Ltd., England

2.0.0- PROPIEDADES MORFOLÓGICAS

2.1.0- El diámetro aparente de las fibras

En general, todas las fibras tienen una **sección real** (S_R) que está muy lejos de ser un círculo perfecto. Se puede, sin embargo, considerar una **sección circular equivalente** ($S_{eq} = S_R$), a la que correspondería un **diámetro aparente** (Φ_{ap}), que se puede calcular teniendo en cuenta que:

$$\text{Peso de la fibra} = \text{Área de la sección de la fibra} \times \text{largo de la fibra} \times \text{densidad de la fibra}$$

$$\text{Área de la sección} = (\pi \cdot \Phi_{ap}^2)/4$$

En las **fibras textiles naturales** las dimensiones del **diámetro aparente** y del **largo** tienen grandes variaciones. Aún con fibras de igual tipo u origen se observan grandes variaciones (entre distintas fibras y a lo largo de una misma fibra). Se debe, por tanto, considerar valores medios y sus coeficientes de variación (CV%). En las **fibras químicas**, hechas por el hombre, el **diámetro aparente** y el **largo** presentan menores variaciones. Sin embargo, la **forma de la sección** de las fibras químicas puede también ser muy variable, según de que empresa provengan (ver Secc. 223 de este capítulo).

Como ya se ha señalado, la **hilabilidad** de una fibra depende en gran medida de su **rugosidad superficial**, es decir, de su **índice de fricción fibra / fibra**. La fricción interfibrilar impide que las fibras se deslicen unas sobre otras, confiriéndole **resistencia a la tracción al hilado**. La **fricción interfibrilar** es función del **área externa** de las fibras y de la **cantidad** de éstas que hay por **sección transversal de hilado**. El **área externa** de la fibra está determinada por: **1)** su **largo** y, **2)** por el **perímetro** de su **sección**, y este a su vez, por el **diámetro aparente**. El **diámetro aparente** y el **largo** de las fibras tienen entonces fundamental importancia en el proceso de hilatura de las **fibras discontinuas**.

La **cantidad de fibras** que deben haber **por sección de hilado** no puede ser menor a un valor mínimo, llamado "**límite de hilabilidad**" que será distinto según la naturaleza de la fibra textil que se utilice. **Por debajo de esa cantidad mínima de fibras por sección, un hilado de fibras discontinuas no tendrá resistencia a la tracción y no será viable**. Como esa cantidad mínima de fibras por sección se debe respetar siempre, **en general, no se pueden hacer hilados delgados con fibras gruesas** (Ver: Cap. 4, "Hilatura de fibras discontinuas", Figura 2.15, Tabla 2.8 y Figura 2.25). Por otra parte, **la regularidad** de los hilados es mejor cuando las fibras son finas que cuando son gruesas, pues **una ligera variación al azar en la cantidad de fibras por sección del hilado, será más notable cuando las fibras son gruesas que cuando son finas**. Por tanto, en el momento de adquirir la materia prima que se utilizará en la producción de un hilado de un determinado título, tendrá gran importancia conocer el **diámetro aparente** o "**finura**" de las fibras textiles, sus **valores medios** y sus **CV%**.

La **lana** es una fibra relativamente larga si la comparamos con el **algodón** y presenta una gran variación del diámetro aparente, según sea la raza del ovino y la parte del vellón de donde provenga. Por tanto, el **diámetro aparente** será mucho más importante que el **largo** a la hora de comercializar lana. El **algodón**, por el contrario, si lo comparamos con la **lana**, es una fibra corta y con una menor variación de su diámetro aparente. Por tanto, a la hora de vender y comprar **algodón**, se valora más su **largo** (además de otras propiedades como la madurez, el color, etc.).

La "**finura**" es una expresión utilizada en la industria lanera para establecer una estimación **subjetiva** del **diámetro aparente** de la fibra. Sin embargo, la expresión "**diámetro aparente**" es más correcta, pues la fibra no tiene una sección circular perfecta y por tanto no existe un

diámetro real sino “*aparente*”. Tanto la “*finura*” como el “*diámetro aparente*” se expresan comúnmente en *micrones*, es decir en milésimas de milímetro (ver Figuras 2.11, 2.12 y 2.13).

La “*finura*”, además de su importancia en el proceso de hilatura, es también muy importante porque determina una propiedad muy apreciada en el artículo final: la *suavidad*. Un aumento al doble del diámetro aparente de la fibra se estima que reduce unas 16 veces la flexibilidad de la misma. **Las fibras gruesas serán por tanto más rígidas**, tendrán más tendencia a “pinchar” la piel humana y producir escozor. Los artículos hechos con fibras delgadas y flexibles no “pinchan”, son más suaves y se comercializan, por tanto, a mejor precio (ver Figura 2.14).

El *diámetro aparente* y muy especialmente el *largo* de las fibras influyen también en una propiedad fundamental del hilado: la *regularidad*. Estas propiedades morfológicas, sumadas a la forma como se lleve a cabo el proceso de hilatura, determinarán que el hilado posea o no una buena “*regularidad de masa*” (ver Capítulo 4).

COMPARACIÓN DE LA “FINURA” DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES (en micrones)

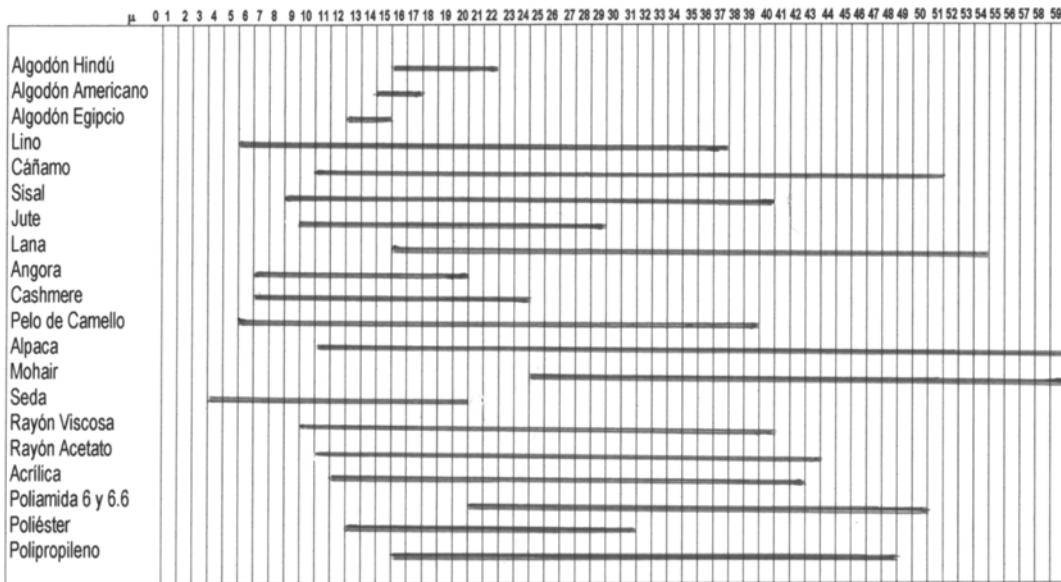


Figura 2.11

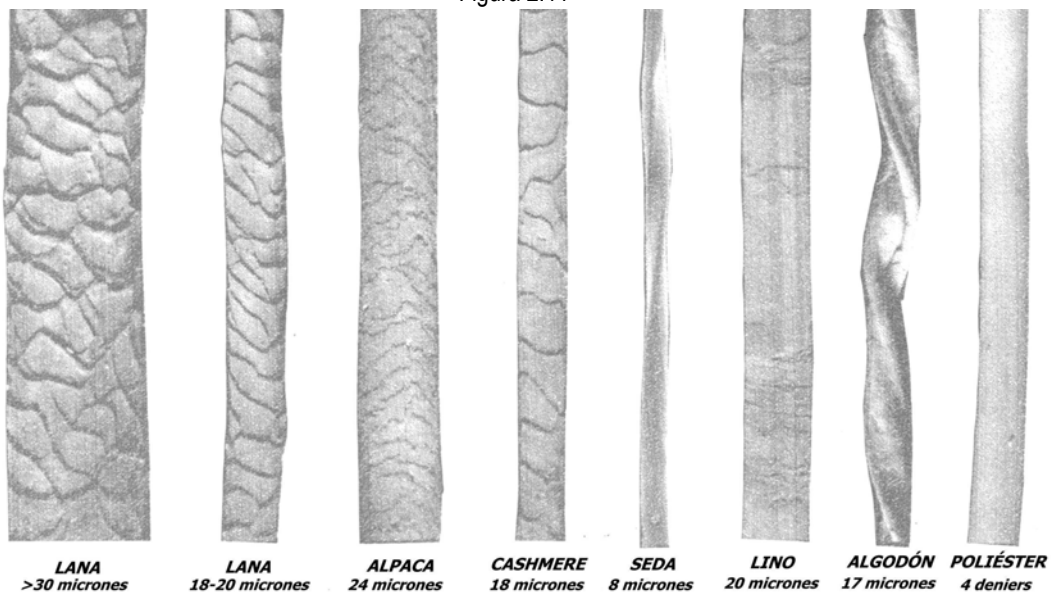


Figura 2.12

+

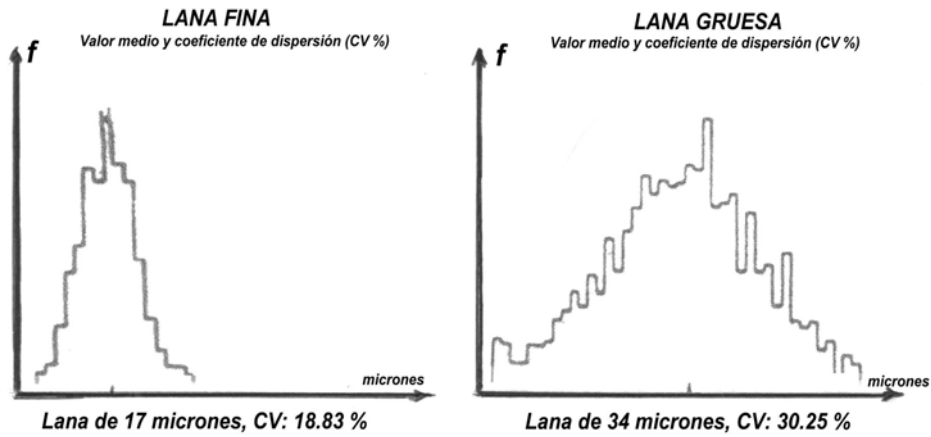


Figura 2.13

Finura de la lana: valores medios y su dispersión

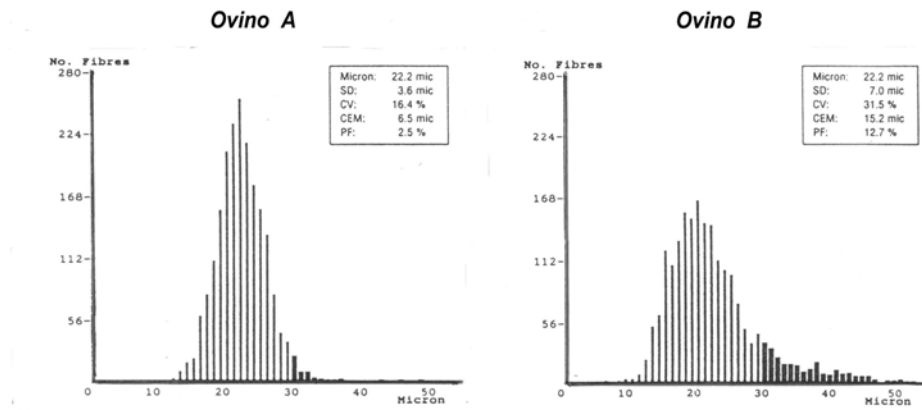


Figura 2.14

La finura y la suavidad al tacto

“Factor de escozor”: es el porcentaje de fibras de la muestra con finura mayor a 30 micrones.

“Micrones del borde grueso”: es el número de micrones por encima de la media correspondientes al 5 % de las fibras más gruesas. La lana del ovino A será más suave que la del ovino B

"FINURA" DE LA FIBRA * LÍMITE DE HILABILIDAD * TÍTULO DEL HILADO

Ejemplo: LANA de 18 y 30 micrones de "finura"

Límite de Hilabilidad (LH) = 45-50 fibras por sección del hilado

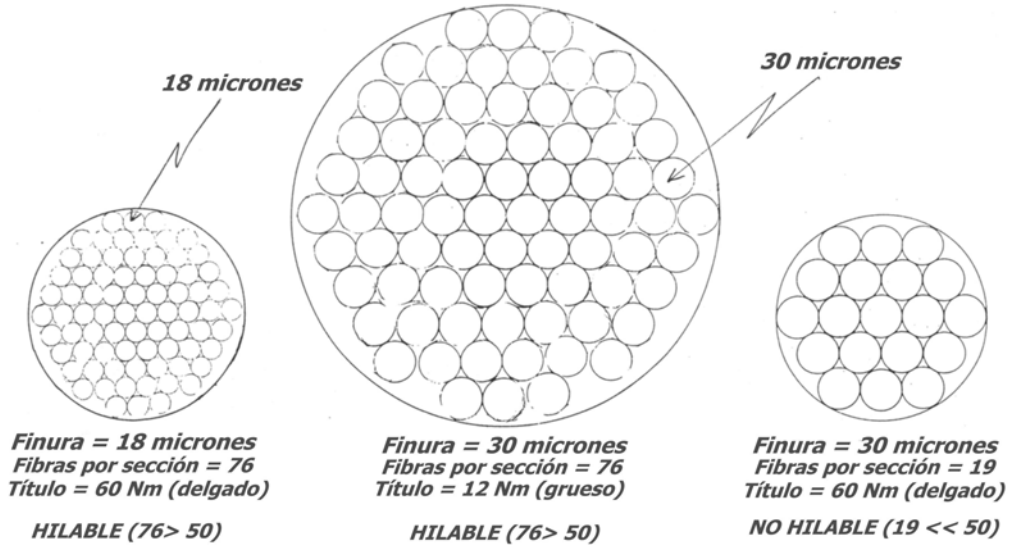


Figura 2.15

CANTIDAD DE FIBRAS POR SECCIÓN DE HILADO NECESARIAS PARA HILAR LANA

Los números en rojo, a la izquierda de la línea divisoria, corresponden a los hilados viables, es decir, aquellos que tienen una cantidad de fibras por sección igual o mayor al "límite de hilabilidad (45 fibras por sección)"

μ Nm	8	10	12	18	24	28	32	36	40	44	48	56
30,0			84	56	42	36	31					
29,5			87	58	43	37	33					
29,0			90	60	45	38	34	30				
28,5			94	62	47	40	35	31				
28,0				65	48	41	36	32				
27,5				67	50	43	38	33	30			
27,0				70	52	44	39	34	31			
26,5				72	54	46	40	36	32			
26,0				75	56	48	42	37	33	30		
25,5				78	58	50	44	39	35	31		
25,0					61	52	46	40	36	33	30	
24,5					63	54	47	42	38	34	31	
24,0					66	56	49	44	34	36	33	
23,5					69	59	52	46	41	37	34	
23,0						61	54	48	43	39	36	31
22,5						64	56	50	45	41	37	32
22,0						67	59	52	47	43	39	34
21,5							62	55	49	45	41	35
21,0							65	57	51	47	43	37
20,5								60	54	49	45	39
20,0								63	57	52	47	41
19,5									60	54	50	43
19,0									63	57	52	45

Tabla 2.8

2.2.0- Equipos para la medición del diámetro aparente de las fibras textiles

1-MICROSCOPIO DE PROYECCIÓN. (ej. lanómetros)

Un microscopio proyecta la imagen sobre una pantalla donde se mide el diámetro de unas 100 fibras con una regla graduada. Se construye un histograma y se determina la finura media en micras y su CV%. Es un método que insume mucho tiempo.

2-“AIR FLOW” (“WIRA Fibre Fineness Meter”) (Figura 2.16)

Este equipo es muy usado para lana aunque también se utiliza para algodón. Se hace pasar una corriente de aire por una muestra de peso conocido de fibras lavadas y cardadas. Se pueden medir el flujo de aire a presión constante o la caída de presión a flujo constante. El primer método es el más usado. La fórmula básica del aparato relaciona la caída de presión con el diámetro aparente de la fibra: $Q = (k.d.e.A.\Delta P) / (1-e)L$; donde d = diámetro de la fibra y k, A, L, e son constantes del aparato. Se mide el caudal Q en el rotámetro a ΔP constante y se obtiene d , en micrones, en una curva de calibración.

3-“CSIRO SONIC FIBRE FINENESS METER”

Mide la variación de frecuencia sónica a través de la muestra de fibras. El aparato registra, en milivoltios, la atenuación producida por la muestra a la señal de ultrasonido. El diámetro medio, en micras, se obtiene de una tabla de conversión.

4-“OPTICAL FIBRE DIAMETER ANALYSER (OFDA)” (Figura 2.17)

El equipo magnifica la imagen de las fibras individuales usando una cámara de video, y se miden en la pantalla del monitor sus diámetros aparentes.

5-TEXLAB FDA 200 PEYER

Se suspende una muestra de fibras en un líquido adecuado. Se hacen pasar las fibras, una por una, por una zona de medición y se miden sus diámetros aparentes con un rayo láser.

6-SIROLAN-LASERSCAN (Figura 2.18, 2.19)

Es un equipo similar al anterior, desarrollado por el CSIRO de Australia.

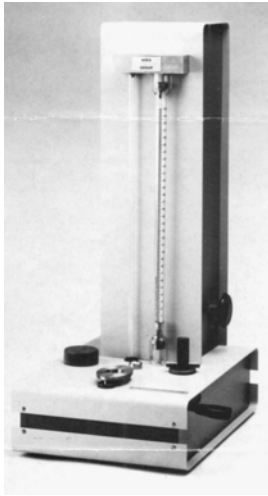
7- “FIBRONAIRE” o “MICRONAIRE”

Este equipo mide la resistencia al pasaje de aire que opone una muestra de algodón, a dos presiones distintas, y da un valor que se corresponde con la “finura” y la “madurez” de la fibra. Ese valor se expresa como “*índice micronaire*”, que equivale al peso en microgramos ($10^{-6}g$) de una pulgada de largo de fibra (25,4 cm). *Índices micronaire* de 3 son característicos de algodones muy finos, de 3 a 5 de algodones de finura media e, índices superiores a 5 de algodones gruesos. Existen también equipos, como el “IIC-Shirley Fineness/Maturity Tester”, que dan valores de finura y madurez por separado.

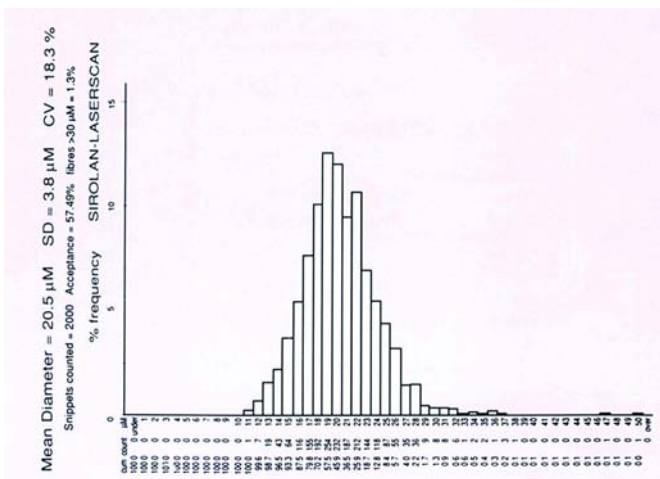
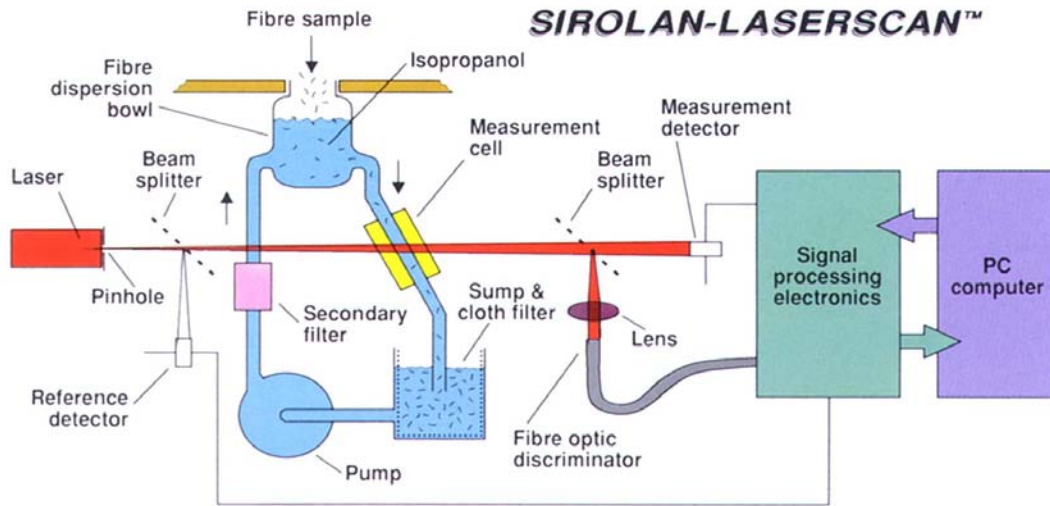
8- “HIGH VOLUMEN INSTRUMENT (HVI)” (Figura 2.20)

Estos equipos permiten obtener, en pocos minutos y en serie, datos de finura, madurez, color, suciedad, largo y resistencia a la tracción de una gran cantidad de muestras de algodón.

FLOW METER



OPTICAL FIBRE DIAMETER ANALYSER (OFDA)



Histograma resultante de una medición con el Sirolan-Laserscan



HIGH VOLUMEN INSTRUMENT (HVI)

*Figuras 2.16, 2.17, 2.18, 2.19 y 2.20
 tomadas de folletos comerciales*

2.3.0- La “densidad lineal” de una fibra

En el caso de la **seda** y de las **fibras químicas** no es común expresar sus “**diámetros aparentes**” en **micrones** sino que en general se determinan sus “**densidades lineales**”, tanto si son filamentos o si son fibras “cortadas”.

Se define la “**densidad lineal**” de una fibra **como el peso correspondiente a un dado largo. Solo para materiales de igual peso específico, la “densidad lineal” será función lineal del diámetro aparente de la fibra** (ver también “Título, Número y Cuenta de Hilados” en el Cap. 4).

peso específico de un cuerpo cilíndrico = peso / (área de la sección x largo) = $P / S \times L = P / V$
“densidad lineal” de una fibra = peso / largo = P / L

La “**densidad lineal**” de las fibras continuas o filamentos, así como las fibras discontinuas que resulten de su corte, se expresan generalmente en “**decitex**” o en “**deniers**”.

El “**tex**” expresaría **el peso en gramos de una fibra de 1000 metros de longitud**. Una fibra de 1 tex sería aquella que pesara un gramo por cada 1000 metros.

El “**denier**” expresa **el peso en gramos de una fibra de 9000 metros de longitud**. Una fibra de un “denier” sería aquella que pesara un gramo por cada 9000 metros.

Un **decitex** es aproximadamente igual a un **denier**: 1 decitex = 0,9 denier; 1 denier = 1,1 decitex

Si dividimos la “**densidad lineal**” de una fibra por su **peso específico** obtendremos su “**sección equivalente**”: $(P/L) / [P/(S \times L)] = P.S.L / P.L = S$. Conocidas entonces la **densidad lineal** de una fibra, en **dtex** o **deniers**, y su **peso específico**, en p.ej., **g/cm³**, se puede calcular su **sección equivalente** en **cm²**, y por tanto su **diámetro aparente** en **micrones**.

Pregunta: ¿Cuál será la sección equivalente y el diámetro aparente de un filamento de poliéster de 5 deniers (peso esp. 1,38 g/cm³)?

Respuesta: $5 \text{ g} / 9000 \text{ m} = 5,5 \times 10^{-4} \text{ g/m}$; sección: $(5,5 \times 10^{-4}) / 1,38 = 3,98 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$
 diámetro aparente: $\sqrt{(3,98 \times 10^{-6} \times 4) / \pi} = 22,1 \times 10^{-4} \text{ cm} = 22,1 \text{ micrones}$

Si la **naturaleza química** de las fibras que se comparan es distinta, y por tanto distinto su **peso específico**, ya **no hay una relación directa entre sus densidades lineales y sus secciones**. P.ej. una fibra de 3 deniers y peso específico 1,5 tendrá una “sección equivalente” o “denier equivalente” igual a otra de 2 deniers y peso específico 1.

P- Para fibras de diferentes pesos específicos pero igual tex o denier, ¿cuál tendrá mayor “sección equivalente”? **R-** La más liviana, o de menor peso específico.

P- Considerando dos conjuntos de fibras de pesos totales iguales pero de pesos específicos diferentes, y suponiendo largos promedio iguales para todas las fibras, ¿qué conjunto presentará una mayor **área de contacto interfibrilar**? **R-** El conjunto de mayor peso específico, pues las secciones equivalentes de sus fibras serán menores y, para un dado peso, habrán más fibras y por tanto, mayor área de contacto interfibrilar..

Para elaborar un hilado con una mezcla íntima de fibras de distinta naturaleza, es importante que sus **diámetros aparentes** y sus **secciones equivalentes sean similares** y no que sus **densidades lineales sean iguales**. Los hilados elaborados con fibras de distintas **secciones equivalentes**, tienden a tener una mayor “**migración**” o movimiento de fibras desde el núcleo a la vaina del hilado y viceversa, con lo que pueden producirse problemas de **pilosidad** y/o “**pilling**”.

TABLA 2.9
PESO ESPECÍFICO DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES

FIBRA	g/cm³
Algodón	1,54 - 1,56
Lino	1,50
Lana	1,30 – 1,32
Seda	1,25 – 1,34
Rayón Acetato	1,31 – 1,33
Rayón Viscosa	1,52
Poliámidas (“nylon”)	1,14
Poliésteres	1,23-1,38
Poliacrílicas	1,13
Poliolefinica	0,92 – 0,95

En algunos casos puede ser conveniente establecer (*para una fibra natural, un filamento o una fibra artificial y/o sintética cortada*) una equivalencia entre la **finura** expresada en micrones y la **densidad lineal**. En la *Tabla 2.10* se dan algunos valores aproximados de estas equivalencias.

TABLA 2.10
ALGUNAS EQUIVALENCIAS APROXIMADAS ENTRE
DIÁMETRO APARENTE EN MICRONES Y DENSIDAD LINEAL EN DECITEX

Diámetro aparente MICRONES	DECITEX				
	LANA	VISCOSA	NYLON 6.6	PES	ACRÍLICO
19	4.0	3.3	3.1	3.9	2.1
20	4.4	3.7	3.6	4.3	2.3
21	4.9	4.1	3.9	4.8	2.6
22	5.3	4.4	4.3	5.2	2.8
23	5.9	4.8	4.7	5.7	2.9
24	6.3	5.1	5.1	6.2	3.1
25	6.9	5.6	5.6	6.8	3.3
26	7.3	6.0	6.1	7.3	3.7
27	7.9	6.4	6.6	7.9	3.9
28	8.4	6.9	7.0	8.4	4.2
29	9.0	7.3	7.4	9.1	4.6
30	9.6	7.7	8.0	9.8	5.0
32	10.8	8.6	9.1	11.1	5.8
34	12.0	9.6	10.4	-	6.9
36	13.3	10.6	11.6	-	-

La **densidad lineal** en decitex ($N_{d\text{tex}}$) se calcula a partir del **diámetro aparente** en micrones (Φ_{ap}) con la siguiente fórmula: $(\pi \cdot \Phi_{ap}^2 / 4) \cdot 1.000.000 \times \text{peso específico de la fibra}$ (Φ_{ap} en cm y el **peso específico** en g/cm³)

2.4.0- Microfibras y microfilamentos

Hasta hace muy poco tiempo se consideraba que los artículos hechos con fibras artificiales y sintéticas tenían una “mano” o “tacto” menos agradable que las hechas con fibras naturales. Actualmente, sin embargo, este concepto ha cambiado, primero debido al **texturizado** de los filamentos (*ver pág. 48*) y, más recientemente, debido al desarrollo de las **microfibras** y los

microfilamentos. Desde 1985 el consumo de fibras sintéticas aumentó considerablemente y, con la aparición de las **microfibras** y **microfilamentos**; ese consumo se ha acelerado aún más. A partir de 1960 se comenzó a trabajar para obtener fibras **sintéticas** con **densidades lineales** similares o menores a los de la **seda**, es decir, de aproximadamente 1 dtex o 1 denier o menos

AÑO	Monofilamento (dtex ò denier)	Cantidad de filamentos	Hilado multifilamento (dtex ò denier total)
1960	5,0	30	150
1980	2,0	35	70
1985	1,0	50	50
1990	0,4 - 0,6	100	40-60

Si bien se pueden producir **microfilamentos** entre 0,1 y 1,0 dtex (y **ultra microfilamentos** entre 0,0001 y 0,1 dtex) para fines textiles, en general, se utilizan **microfilamentos** de **poliéster** de 0,55 - 0,65 dtex y de **poliamidas** de 0,80–0,85 dtex. Como las **poliamidas** son más blandas que el poliéster, se deben utilizar microfilamentos de poliamida algo más gruesos que los de poliéster, para obtener telas con texturas y resistencias finales similares.

Las "**microfibras cortadas**" se emplean menos que los "**microfilamentos**" pues presentan diversos problemas: p.ej. deben hilarse a velocidades más bajas para evitar la formación de "neps" y las telas tejidas con estos hilados pueden presentar luego problemas de "pilling". Para hilados de poliéster puro se pueden emplear "**microfibras cortadas**" de 0,8 dtex pero para mezclar con algodón y con lana se deben utilizar microfibras más gruesas de, p. ej., 1,1 dtex para algodón y de 1,3 dtex para la lana.

Las telas tejidas con hilados de **microfilamentos** o **microfibras cortadas** tienen un tacto mucho más suave, una superficie más tersa, una "caída" más pronunciada, una mayor estabilidad dimensional. Tienen también una baja permeabilidad al "**agua líquida**" pero muy buena al "**agua vapor**", menor tiempo de secado, y un mayor poder cubriente de la luz.

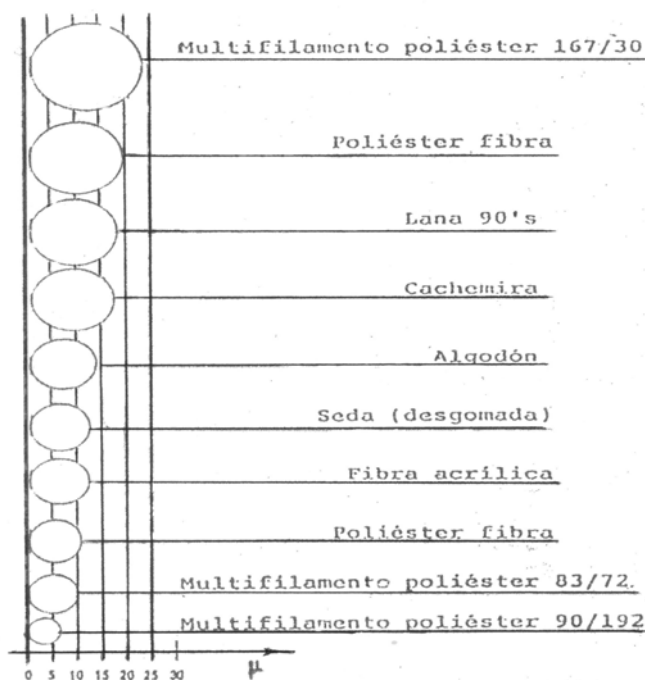


Figura 2.21 - Comparación de las **secciones equivalentes** de algunas fibras textiles

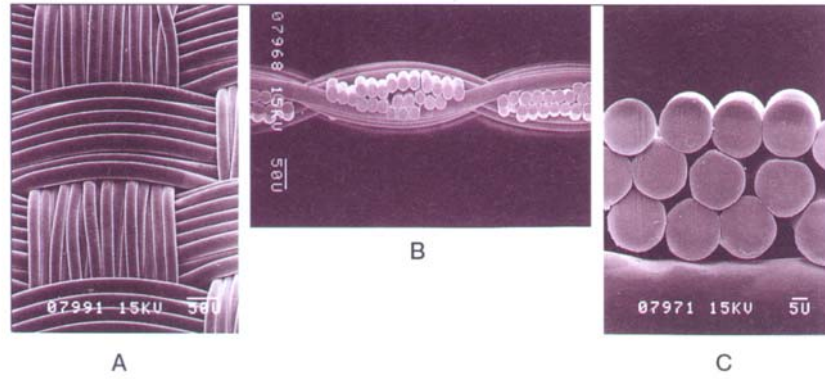


Figura 2.22

Tejido plano hecho con microfibrillos

A: superficie del tejido, B: sección del tejido, C: sección de los microfibrillos

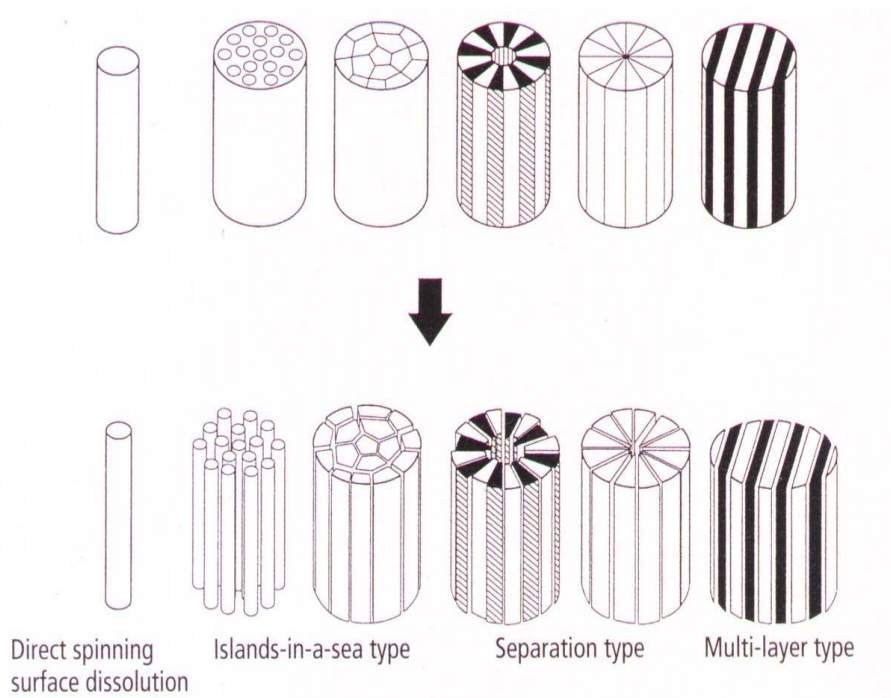


Figura 2.23

Métodos de producción de microfibras

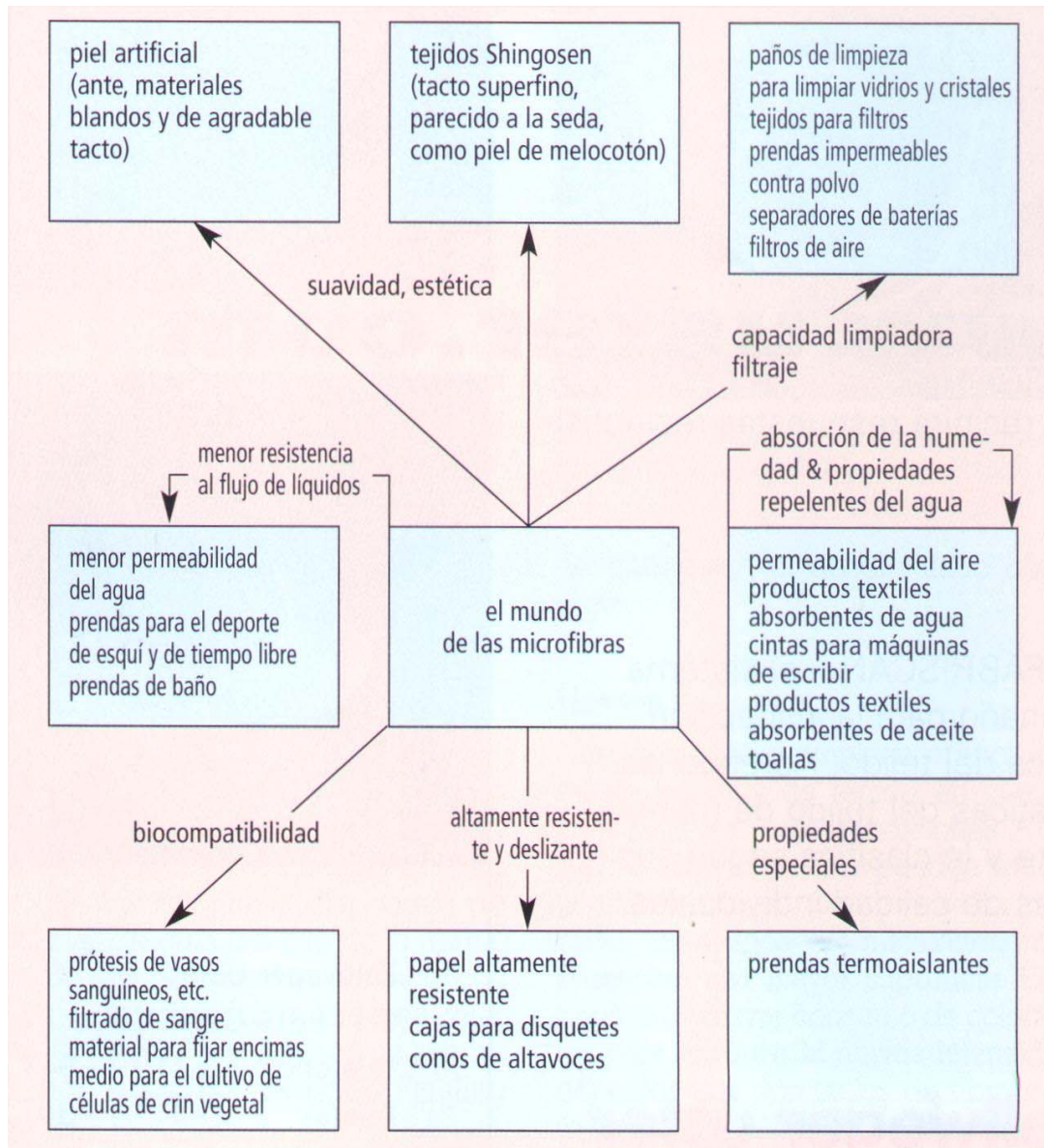


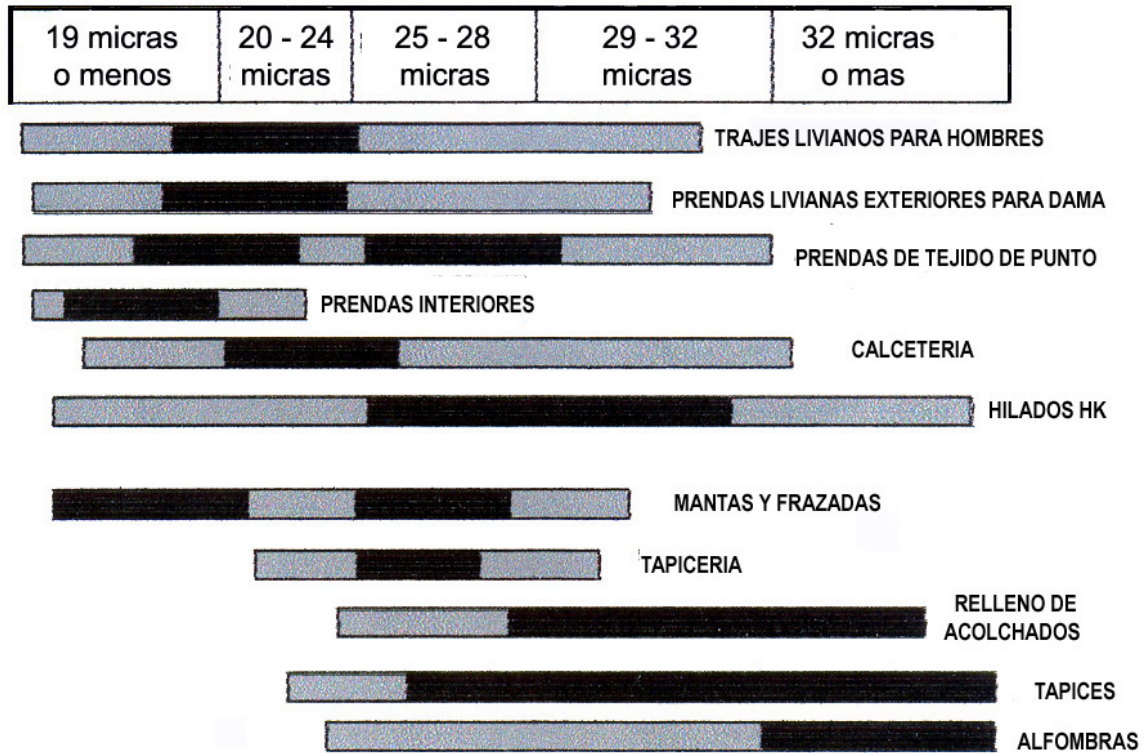
Figura 2.24

Posibles campos de aplicación de las microfibras y microfilamentos

Figura tomada del International Textile Bulletin (ITB)

Figura 2.25

ARTÍCULOS DE LANA SEGÚN LA FINURA DE FIBRA UTILIZADA



BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Fibre Science", J.M.Preston, The Textile Institute, Manchester, 1955
- 2- "Physical Methods of Investigating Textiles", R. Meredith, 1956
- 3- "The WIRA Textile Data Book", WIRA Headingley Lane, Leeds, LS 6 1 BW, England, 1973
- 4- "Shingosen: Past, Present and Future", M.Okamoto, K.Kajiwara, Textile Progress, Vol.27, N°2, 1997

2.5.0- La medición de la longitud de las fibras textiles

Las fibras textiles presentan una variación o dispersión no solo de su “finura”, sino también de su longitud. Esta variación o dispersión es mayor en las fibras naturales que en las fibras “hechas por el hombre”. Dada una materia prima, conocer la distribución de la longitud de las fibras, y muchas veces la fracción de fibras más cortas que un dado valor, tiene gran importancia para el control de calidad del proceso de hilatura. Este tema es especialmente crítico para el algodón, que es una de las fibras naturales más “cortas” (30 mm, promedio). Las fibras de algodón muy cortas (menos de 20 mm) conocidas con el nombre de “linters” no sirven para ser hiladas. Las fibras de celulosa de la madera, que son aún mucho más cortas que el “linter” (10 mm o menos, según el tipo de madera), son aptas solo para hacer pasta de celulosa y papel, pero no para ser hiladas.

Un alto contenido de fibras muy cortas, en las fibras utilizadas como materia prima, influye negativamente en la regularidad de masa (ver Vol. 2, Cap. 05) y en la resistencia a la tracción del hilado, así como en la tendencia a la formación de “pilling” en los tejidos. La operación de “peinado” tiene como finalidad justamente retirar las fibras más cortas y mejorar la **regularidad** y la calidad final del hilado (ver Vol. 2, Cap. 04, Sección 4.0.0 y 5.0.0). Es importante tener en cuenta que a veces, debido a las altas velocidades de trabajo de las máquinas de hilatura modernas, la cantidad de fibras cortas puede incrementarse por rotura de fibras durante las operaciones de cardado y estirado.

2.5.1- Función probabilidad

La dispersión de longitud puede ser descrita, desde un punto de vista estadístico, como una función continua de probabilidad, $y' = f(l)$, tal como se indica en la Figura 2.26

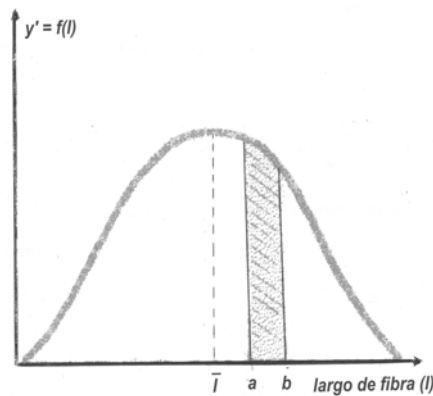


Figura 2.26 - Función probabilidad

La probabilidad $p(l)$ que una longitud l esté comprendida entre a y b será:

$$p(a < l < b) = \int_a^b f(l) dl$$

La probabilidad de que l esté entre un valor l_{min} y un valor l_{max} será igual a 1, es decir 100 % :

$$p(l_{min} < l < l_{max}) = \int_{l_{min}}^{l_{max}} f(l) dl = 1$$

La **función probabilidad acumulada** $F(l)$ será:

$$y = F(l)$$

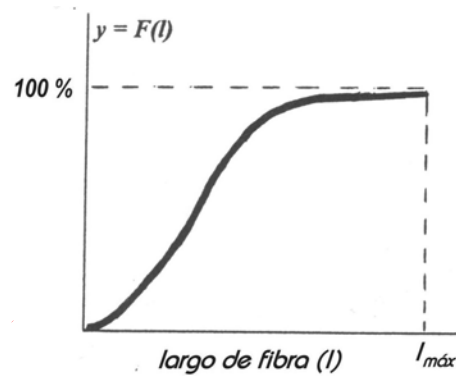


Figura 2.27 - Probabilidad acumulada

La ordenada $F(L)$ indica la **frecuencia relativa acumulada**, es decir la probabilidad de que el valor de una observación sea **menor o igual** que un valor **L dado**.

$$F(L) = F(l \leq L) = \int_0^L f(l)dl$$

$$F(L_{max}) = \int_0^{L_{max}} f(l)dl = 1$$

En la práctica se entiende que la información que proporciona dicha función es el porcentaje de fibras que poseen una longitud inferior o igual a un valor **L dado**. La **función probabilidad acumulada** es la primera integral de la **función probabilidad o histograma**.

La ordenada de la **frecuencia relativa acumulada complementaria**:

$$\phi(l) = 1 - P(L)$$

es la probabilidad de que el valor de una observación sea **mayor** que un valor **L dado**. La curva de la **función probabilidad acumulada complementaria** sería igual a la figura que obtendríamos si acomodáramos por su largo, paralelas al eje de abscisas, todas las fibras de la muestra, una sobre otra, con uno de sus extremos tocando el eje de ordenadas. Los valores de la ordenada suministran el porcentaje de fibras cuya longitud es superior a una longitud **L dada**.

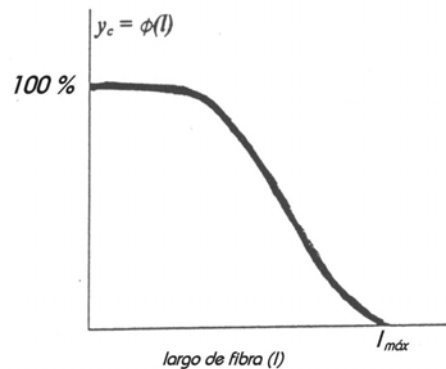


Figura 2.28 - Probabilidad acumulada complementaria

2.5.2- Longitud media “barbe”

El valor medio de una variable discreta, obtenida de una tabla de frecuencias es:

$$\bar{x} = \sum f_i(x_i)x_i$$

donde $f_i(x)$ es la frecuencia **relativa** de la clase i y x_i el valor central de cada clase.

Cuando la muestra se hace más grande, de modo que representa toda la población, la frecuencia relativa es equivalente a la probabilidad. Entonces el valor medio de la población (μ) está dado por:

$$\mu = \sum \text{Pr}(x = x_i)x_i$$

y para una función continua:

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot x_i dx_i$$

El valor medio de una variable x , ponderado por un factor de importancia m , tiene la siguiente notación:

$$(m, x) = \frac{\sum f(x)_i \cdot m_i \cdot x_i}{\sum f(x)_i \cdot m_i} \quad (2)$$

siendo $f(x)$ la frecuencia **absoluta** de la variable. Si m , el factor de ponderación, vale 1 o es constante, la expresión (2) se transforma en:

$$(1, x) = \frac{\sum f(x)_i \cdot x_i}{\sum f(x)_i} = \bar{x} \quad (\text{valor medio de la variable } x)$$

Asociando la longitud l de la fibra a la variable x y considerando un factor de ponderación p_i , correspondiendo al peso de cada fibra, se define la “barbe” (B), como **la media de la longitud de las fibras ponderada o sesgada por el peso de las fibras**.

$$B = (p, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot p_i \cdot l_i}{\sum f(l)_i \cdot p_i} \quad (3)$$

El peso p_i se puede expresar como:

$$p_i = l_i \cdot s_i \cdot \delta_i \quad (4)$$

siendo, l_i el largo, s_i la sección, δ_i el peso específico de la fibra. Sustituyendo entonces p_i en la ecuación (3) por su valor (4), tendremos:

$$B = (p, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot s_i \cdot \delta_i \cdot l_i^2}{\sum f(l)_i \cdot s_i \cdot \delta_i \cdot l_i}$$

La densidad lineal o título de la fibra N_i se puede expresar como:

$$N_i = \delta_i \cdot s_i \quad (5)$$

entonces:

$$B(p, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot N_i \cdot l_i^2}{\sum f(l)_i \cdot N_i \cdot l_i}$$

Si suponemos que N se mantiene constante obtenemos un valor de “**barbe**” de:

$$B = (l, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot l_i^2}{\sum f(l)_i \cdot l_i} \quad (6)$$

y para una distribución continua de la longitud de fibra :

$$B(l, l) = \frac{\int f(l) \cdot l^2 \cdot dl}{\int f(l) \cdot l \cdot dl} \quad (7)$$

Las frecuencias relativas de un **histograma “barbe”** (y_1), y las frecuencias relativas de un **diagrama acumulado “barbe”** (y_2), representan el % de fibras expresado en **peso** para cada “clase de largo”. Si N es constante, representan el % de fibras sesgado por el **largo**, para cada “clase de largo” (ver Figuras 2.37). El diagrama acumulado se conoce también como “**fibrograma barbe de primera especie**”. El coeficiente de variación de la “**barbe**” CV_B , es:

$$CV_B = \frac{\sigma_B}{B} \cdot 100 = \frac{100}{B} \cdot \sqrt{\frac{\sum (l_i - B)^2 \cdot p_i}{\sum p_i}} \quad (8)$$

2.5.3- Longitud media “hauteur”

Se define la longitud “hauteur” como la longitud media de las fibras ponderada ó sesgada por **la sección ó título de las fibras**. Tendremos:

$$H = (s, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot s_i \cdot l_i}{\sum f(l)_i \cdot s_i} \quad (9)$$

Si $\delta = cte$ como $N = \delta \cdot s$ tendremos:

$$H = (N, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot N_i \cdot l_i}{\sum f(l)_i \cdot N_i} \quad (10)$$

Si N es constante, o existen intervalos de dispersión suficientemente estrechos para la sección de las fibras, la ecuación (10) se transforma en:

$$H = (l, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot l_i}{\sum f(l)_i} = \sum f(l)_i \cdot l_i \quad (11)$$

que coincide con la longitud media del conjunto de fibras o “longitud media no ponderada”.

Las frecuencias relativas de un **histograma “hauteur”** (y_4), y las frecuencias relativas de un **diagrama acumulado “hauteur”** (y_5), representan el % de fibras sesgado por **sección** o **densidad lineal N** de las fibras, para cada “clase de largo”. Si N es constante, simplemente representan el % de la **cantidad** de fibras, por “clase de largo” (ver Figuras 2.37). El diagrama acumulado se conoce también como “**fibrograma Hauteur de primera especie**”. El coeficiente de variación del “**hauteur**”, CV_H es:

$$CV_H = \frac{\sigma_H}{H} \cdot 100 = \frac{100}{H} \cdot \sqrt{\frac{\sum (l_i - H)^2 \cdot s_i}{\sum s_i}} \quad (12)$$

2.5.4- Relaciones entre Barbe y Hauteur

La "barbe" y la "hauteur" están relacionadas por la siguiente ecuación matemática:

$$B = H(1 + CV_H^2)$$

$$\begin{aligned} l^2 &= l^2 + \bar{l}^2 - \bar{l}^2 + 2l\bar{l} - 2l\bar{l} & (\bar{l} = \text{longitud media}) \\ (l - \bar{l})^2 &= l^2 - 2l\bar{l} + \bar{l}^2 \\ l^2 &= (l - \bar{l})^2 + 2l\bar{l} - \bar{l}^2 \end{aligned}$$

que se puede deducir como sigue, si utilizamos el artificio matemático de sumarle y restarle a l^2 términos similares,

Hemos visto que:

$$B = (l, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot l_i^2}{\sum f(l)_i \cdot l_i} = \frac{\int f(l) \cdot l^2 \cdot dl}{\int f(l) \cdot l \cdot dl} \quad (7)$$

Podemos entonces reordenar y sustituir en el numerador de (7):

$$\int l^2 f(l) dl = \int (l - \bar{l})^2 f(l) dl + 2\bar{l} \int l f(l) dl - \bar{l}^2 \int f(l) dl$$

La desviación standard es:

$$\sigma^2 = \sum (l - \bar{l})^2 / n$$

pero como estamos trabajando con frecuencias relativas, entonces:

$$\int (l - \bar{l})^2 \cdot f(l) dl = \sigma^2 ; \quad \int l^2 \cdot f(l) dl = \sigma^2 + 2\bar{l} - \bar{l}^2 ; \quad \int l^2 \cdot f(l) dl = \sigma^2 + \bar{l}^2$$

por otra parte, el denominador de (7) es:

$$\int l \cdot f(l) dl = \bar{l}$$

entonces:

$$B = (\sigma^2 + \bar{l}^2) / \bar{l}$$

Si ahora multiplico y divido esta expresión por l media, tendremos:

$$B = \frac{l(\sigma^2 + \bar{l}^2)}{\bar{l}^2} = \bar{l}(1 + \sigma^2 / \bar{l}^2)$$

Como:

$$\bar{l} = (l, l) = H ; \quad \sigma^2 / \bar{l}^2 = CV_H^2$$

entonces:

$$B = H(1 + CV_H^2)$$

2.5.5- Preparación de las muestras para la medición del largo de fibra

Antes de que existieran los equipos electrónicos, la longitud de las fibras se medían pinzando sucesivamente a distintas distancias, un velo o conjunto de fibras paralelizadas. En cada lugar de pinzado, se separaban, con **peines**, los grupos o “clases” de largo **no pinzados**. Luego de separados se pesaba cada uno de esos grupos o “clases” y se trazaba una gráfica de **peso vs. largo de “clase”** obteniéndose un diagrama o distribución de largo sesgado por peso (diagramas “**Barbe**”).

El **peso de cada “clase”** es igual a **la cantidad de fibras en la “clase”** por **el largo de la “clase”**, por **la sección de cada fibra** y por **el peso específico** del material textil. Como el **peso específico** se puede considerar constante, si se divide **el peso de cada “clase”** por **el largo de la “clase”** y se hace una gráfica del **resultado de esa división (expresado en %)** vs. los **largos de “clase”**, se obtiene una distribución del largo sesgado por la **sección** y por la **cantidad de fibras** (diagrama “**Hauteur**”). Considerando que, además, las **secciones** son constantes, el diagrama “**Hauteur**” se transforma en una distribución del largo por **cantidad de fibras**.

En los ensayos de longitud, **las muestras de ensayo** que se extraigan durante el proceso de hilatura deben ser representativas del total de la partida y adecuada al instrumento de medida. Actualmente, en los equipos electrónicos de medición del largo se trabaja con dos tipos de muestras: “**numérica**” o “**no sesgada**” y “**tuft**” o “**sesgada**”. Muestra **numérica ó no sesgada**, es aquella en la que cualquier fibra tiene la misma probabilidad de ser considerada para la medición de su longitud, independientemente de su longitud. Esta muestra se extrae pinzando la mecha o cinta, entre dos planos perpendiculares **AB** separados por una distancia del orden de los **2 mm** (Figura 2.29). A continuación, la muestra extraída se “peina” para retirar las fibras que no fueron pinzadas. Las fibras que quedan tienen sus extremos pinzados alineados en el plano **AB**. Este tipo de muestra es la que saca, por ejemplo, el “**Fibroliner FL 100**”, equipo auxiliar del **Almeter AL 100** (Figs. 2.38 y 2.39). Se mide el espesor de la muestra por métodos ópticos o capacitivos, registrando lecturas a intervalos regulares, en planos perpendiculares sucesivos, desde el plano de pinzado hasta el extremo libre de la fibra más larga (Figura 2.30). Las señales registradas serán proporcionales a la **cantidad** de fibras presentes en cada “clase de largo” pero **sesgadas** por la **sección** o **densidad lineal** de las fibras (*es decir, las más gruesas se contarán como si fueran más fibras delgadas*) y obtendremos entonces un **diagrama acumulado “Hauteur”**. Si la sección o la densidad lineal de las fibras es, o se considera, constante, obtendremos una distribución acumulada del **largo** de fibra, **no sesgada**, donde **H** (media hauteur) = **L** (media aritmética) y las frecuencias relativas acumuladas serán simplemente un % de la **cantidad** de fibras. Luego de la medición, el programa del microprocesador del equipo calcula automáticamente los **histogramas** y el **diagrama acumulado “barbe”** [de acuerdo a la expresión $B = H(1 + CV_H^2)$] (Figura 2.32)

El otro tipo de **muestra**, la **sesgada ó “tuft”**, se obtiene pinzando al azar, la cinta o mecha, en dos planos perpendiculares separados unos **10-15 mm**, es decir 4 a 6 veces más separados que en el caso anterior (Figura 2.33). Una vez extraída la muestra, se la “peina” por ambos lados para retirar fibras no pinzadas. De esta forma obtendremos una muestra **sesgada por largo** ya que una fibra larga tendrá más probabilidad de ser pinzada que una corta (*p.ej., las fibras más cortas que la longitud AB tendrán una muy baja probabilidad de ser pinzadas*). Si **N** es constante, la muestra además de estar sesgada por **largo** lo estará también por **peso**. Veremos que el diagrama que se obtiene o “**diagrama Tuft**” corresponde a la **integral** de un **diagrama “Barbe”**. La **muestra sesgada** o “**tuft**” es más representativa de la realidad, pues durante las diferentes etapas del proceso de hilatura las fibras no están nunca con sus extremos alineados. Esta muestra reproduce la disposición al azar de las fibras en los “campos de estiraje” p. ej. de

un *manuar*. La *Figura 2.34* muestra las fibras “pinzadas” por las bandas de control en un campo de estiraje y cómo podrían ordenarse por su largo “no pinzado” o “largo subtendido” o “span length”, prefigurando así un “*diagrama tuft*” (ver sección siguiente).

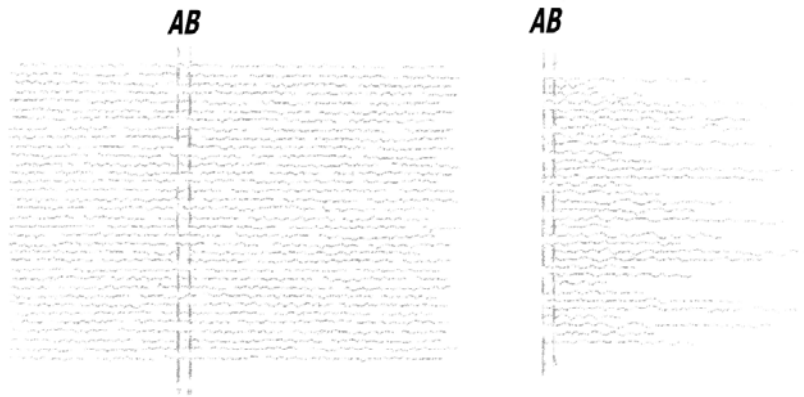


Figura 2.29 - Muestra numérica o “no sesgada”

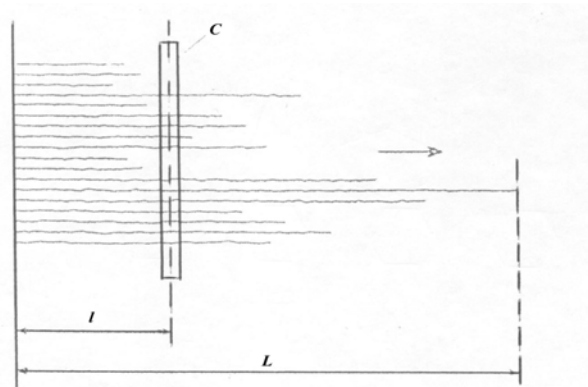
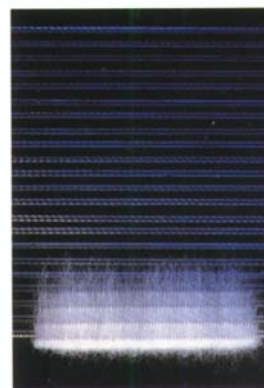
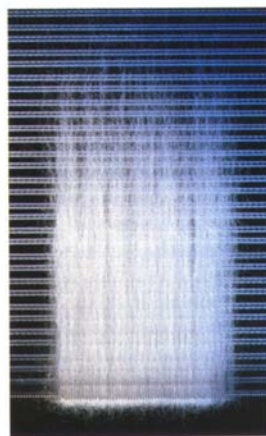


Figura 2.30 - Medición de una muestra numérica o “no sesgada”

Muestras de fibras ubicadas con uno de sus extremos sobre un mismo plano.



LANA

ALGODÓN

Figura 2.31

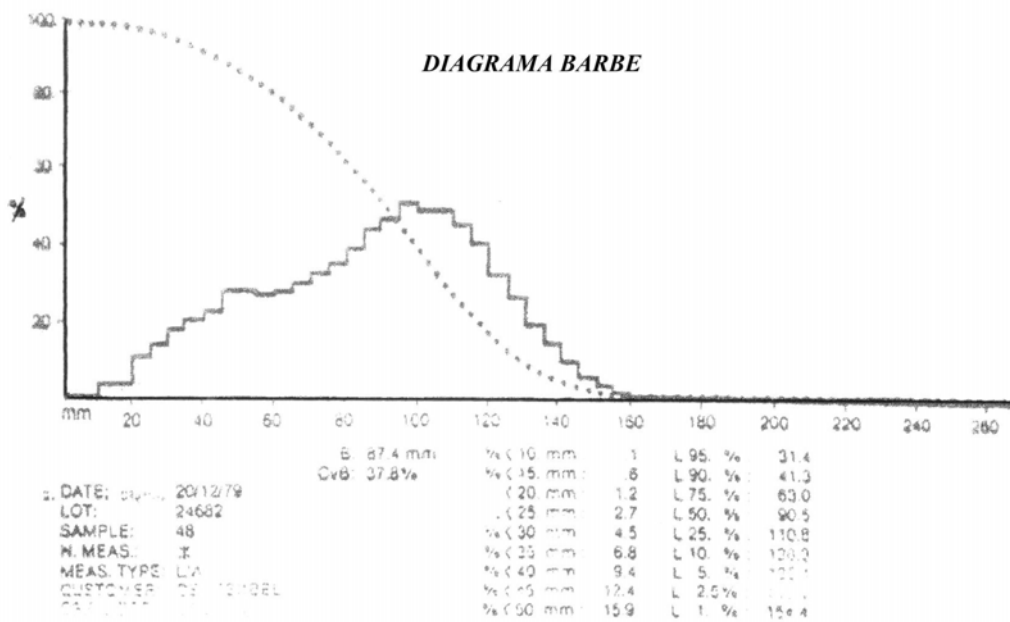
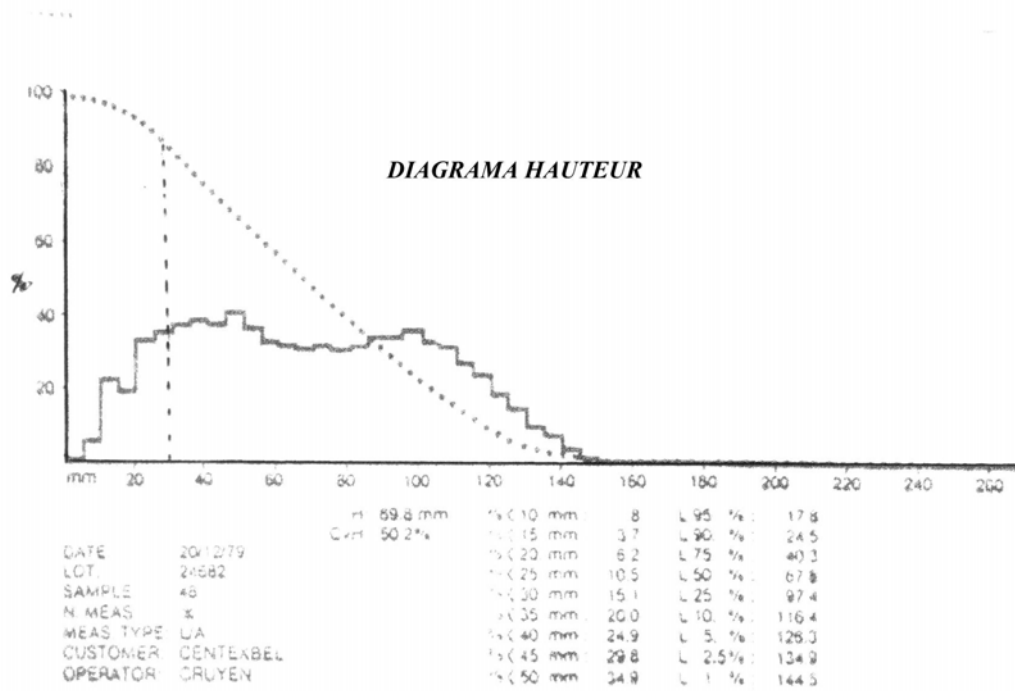


Figura 2.32 - Diagramas "Hauteur" y "Barbe" obtenidos en equipo Almeter 100

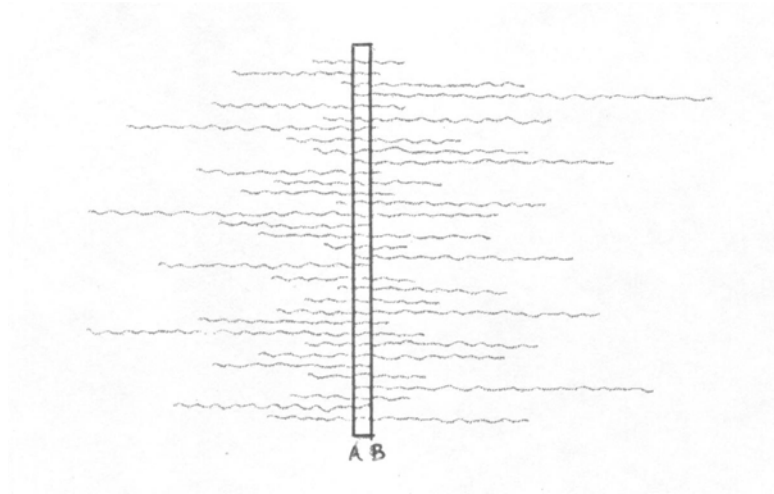


Figura 2.33 - Muestra "sesgada" o "tuft"

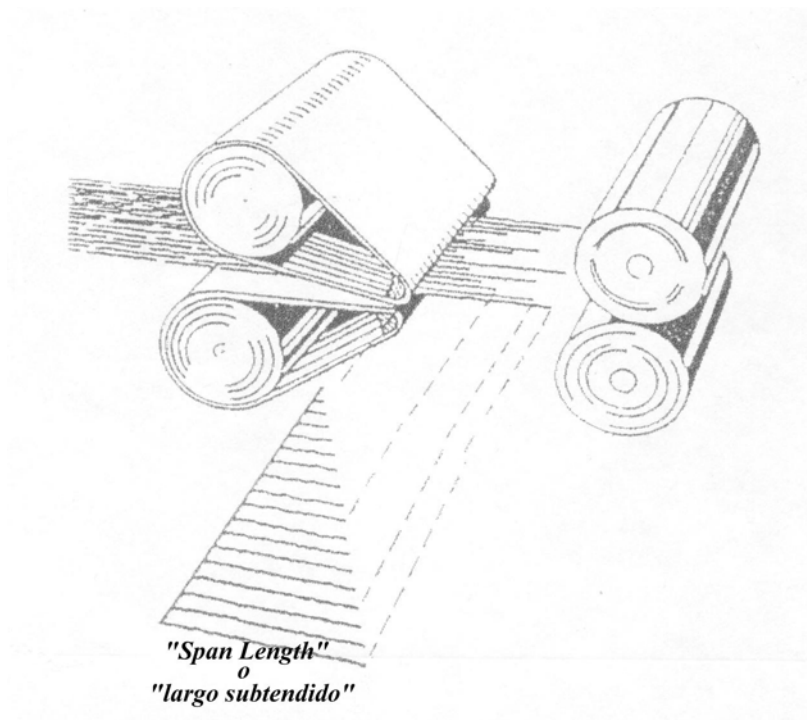


Figura 2.34 - Campo de estiraje de un "manuar"

2.5.6- Diagrama “Tuft” (“span length diagram”) o de “longitud subtendida”

Los **diagramas acumulados** muestran la distribución de una relativamente pequeña cantidad de fibra en la **muestra** ensayada. Sin embargo en la realidad, una **cinta o mecha**, tomada de una hilandería en producción, tiene miles de fibras. El **diagrama acumulado tuft**, que se obtiene a partir de una **muestra sesgada por largo o “tuft”**, es más representativo de esa realidad, pues resultaría de la integración de una gran cantidad de **diagramas acumulados “barbe”** (que por definición son sesgados por peso pero que, si suponemos **N** constante, lo son también sesgados por largo) (ver Figura 2.35). El **diagrama acumulado “tuft”** sería entonces **la integral del diagrama acumulado “barbe”** (ó la doble integral del histograma), por lo que también se le llama **“fibrograma de segunda especie”**.

Conocidos los diagramas acumulados **“Barbe”** y **“Hauteur”**, el diagrama **“Tuft”** no agregaría mucha más información. Sin embargo, es muy útil en la **hilandería algodonera** o de **“fibras cortas”** para ajustar ecartamientos en los trenes estiradores y predecir las fibras que se romperán entre los pares de cilindros de estirado. Los fibrogramas obtenidos con la mayoría de los **fibrografos algodoneros** y los **equipos HVI**, son diagramas **“Tuft”**.

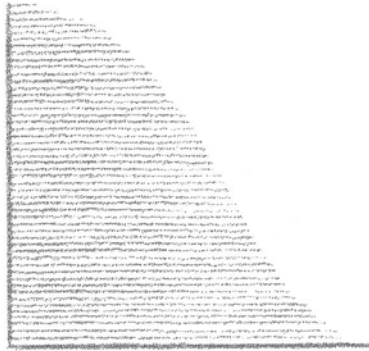
La Figura 2.36 muestra un diagrama **“Tuft”** con los parámetros de más interés para un hilandero de algodón. El **“Mean Length (ML)”** es la longitud media de las fibras y se determina trazando una tangente desde el 100% de cantidad de fibras hasta la intersección con el eje de abcisas o de longitud de fibras. El punto de intersección de dicho eje indicará la longitud media de las fibras. El **“Upper Half Mean Length (UHML)”** es la longitud media de la mitad superior que corresponde a las fibras más largas y se lee en la intersección con abcisas de la tangente trazada desde el punto de ordenadas 50%. Los **“Span Length (SL)”**, o **“longitudes subtendidas”** correspondientes a un porcentaje dado de fibras, p.ej. 50%, 25% ó 2.5%, de una muestra **“tuft**, es decir pinzada al azar, son parámetros de mucho interés para el hilandero de algodón, para establecer los ecartamientos de las máquinas. El **“Uniformity Index (UI)”** es la relación **ML / UHML** y el **“Uniformity Ratio (UR)”** es la relación **SL 50% / SL 2,5%** y ambos son valiosos indicadores de la uniformidad de la materia prima. El **“Short Fibre Content (SFC)”** es también otro parámetro muy importante ya que nos informa del porcentaje en peso de fibras de algodón más cortas de 0.5 pulgadas (12,7 mm), fibras estas que no contribuyen a la resistencia a la tracción del hilado y aumentan su pilosidad. En la Tabla 2.12. se dan algunos de los valores típicos de **UI** y **SL** utilizados para la evaluación de la calidad de la fibra de algodón.

Los equipos **HVI** (**“High Volume Instrument”**) miden en 30 segundos unas 15 propiedades de la fibra de algodón. Este equipo permite obtener rápidamente datos de todos los fardos de los lotes de materia prima, con lo que se pueden programar mezclas y obtener hilados más regulares y de mejor calidad.

TABLA 2.12

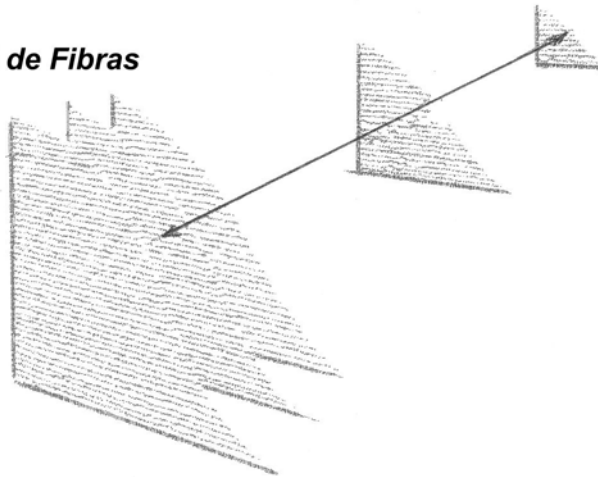
INDICE DE UNIFORMIDAD (U I) %	Características	“SPAN LENGTH” (SL al 2,5 %) en cm	Clasificación
>85	excelente	< 2,5	corto
83-85	muy uniforme	2,5 – 2,9	medio
80-82	uniforme	2,9 – 3,3	largo
77-79	irregular	3,3	extralargo
<77	muy irregular		

% de Fibras



Longitud de fibra

% de Fibras



% de Fibras



Longitud de segmentos de fibras
(longitudes subtendidas o "span length")

Longitud subtendida ("span length")

Figura 2.35 - Diagrama acumulado "Tuft"

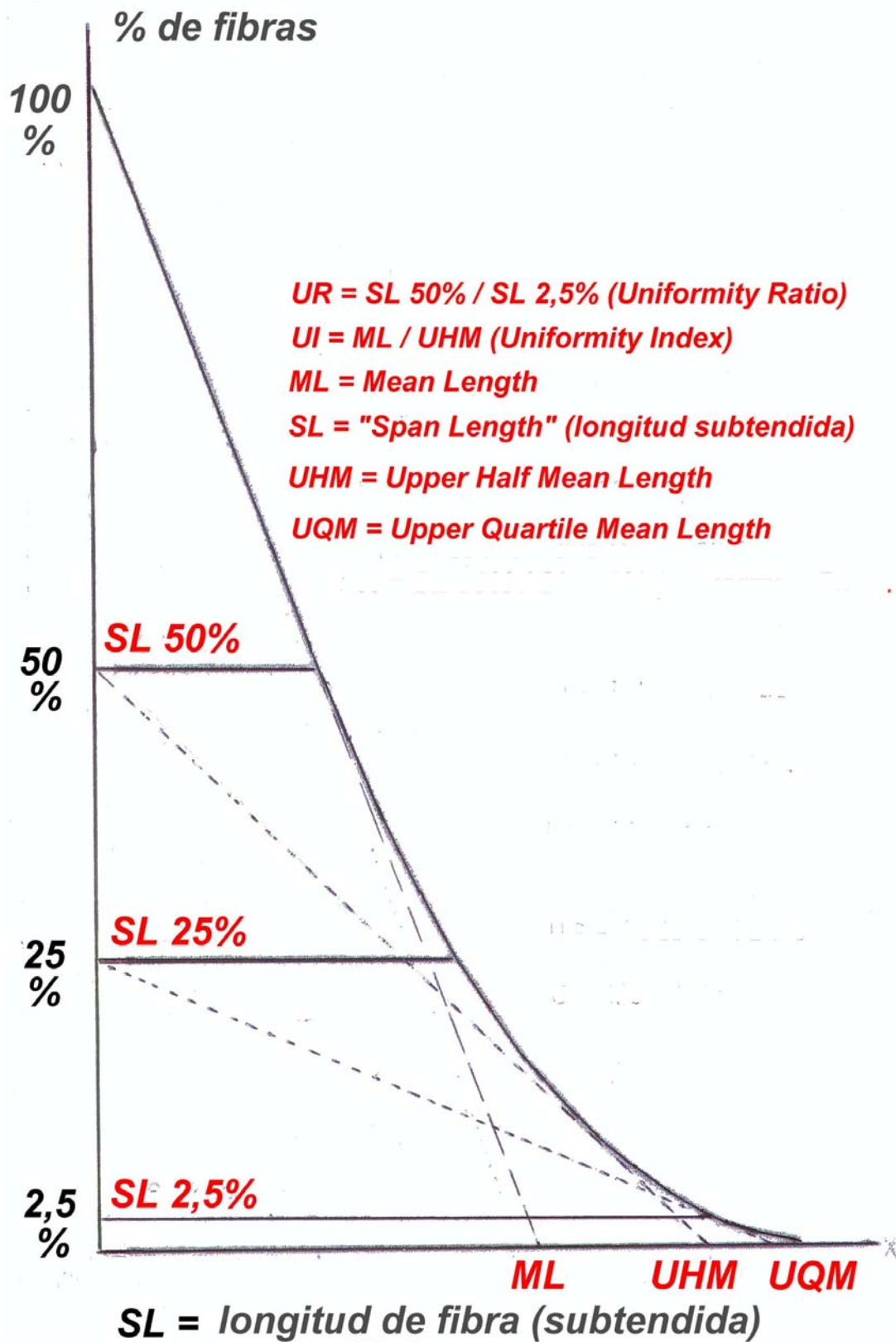


Figura 2.36 - Diagrama "Tuft" ("Span Length Diagram") de una muestra de algodón

2.5.7- Resumen

En las Figuras 2.37 se resumen los **diagramas** que hemos considerado en esta Sección. En la Tabla 2.13 se da un ejemplo práctico con valores supuestos para el trazado de este tipo de diagramas. En la Tabla 2.14 se resumen las características de algunos equipos de medición de longitud de fibras textiles.

FIGURAS 2.37

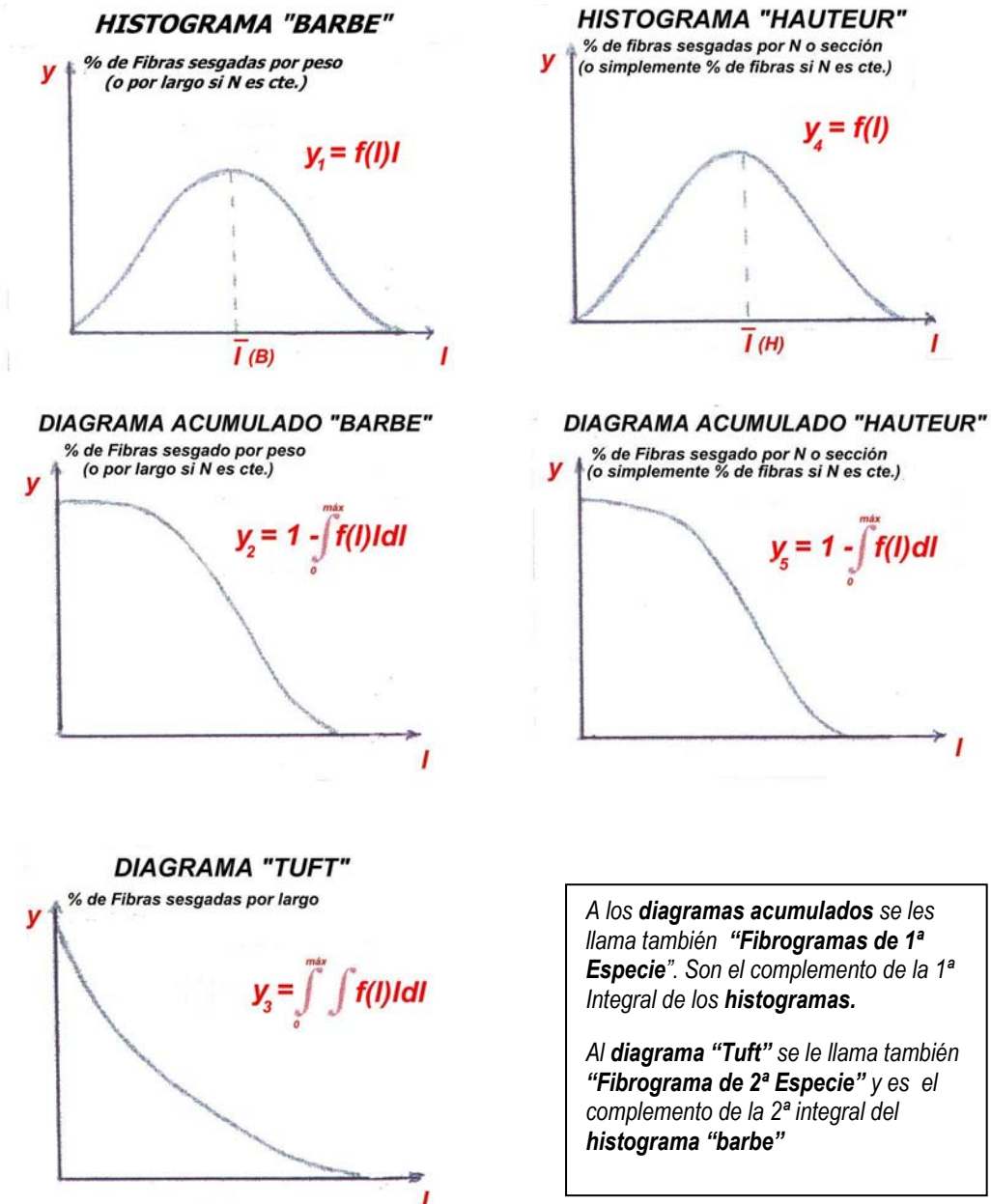


TABLA 2.13 - EJEMPLO DE VALORES CORRESPONDIENTES A HISTOGRAMAS Y DIAGRAMAS

1 Centro de clase de longitud l (cm)	2 Densidad lineal N_l (tex)	3 Frecuencia $f(l)$	4 Sumatoria de 3 $\sum_l^{max} f(l)$	5 Peso $l N_l f(l)$	6 Sumatoria de 5 $\sum_l^{max} l N_l f(l)$	7 Sumatoria de 6 $\sum_l^{max} \sum_l^{max} l N_l f(l)$
0.5	0.50	3	97	0.8	219.9	1216
1.5	0.50	8	94	6.0	219.1	996
2.5	0.51	16	86	20.4	213.1	777
3.5	0.52	24	70	43.7	192.7	564
4.5	0.54	18	46	43.7	149.0	371
5.5	0.56	12	28	37.0	105.3	222
6.5	0.58	8	16	30.2	68.3	117
7.5	0.61	6	8	27.4	38.1	49
8.5	0.63	2	2	10.7	10.7	11

La primera columna de la *Tabla 2.13* indica los valores centrales de cada clase de longitudes. Se ha establecido un intervalo de clase de un centímetro. Tomando, ordenadamente, pares de valores de las columnas primera y tercera obtendremos un histograma "hauteur". El diagrama acumulado "hauteur" se deduce de las columnas primera y cuarta. Con los sucesivos pares de valores de las columnas primera y quinta construimos un "histograma barbe" y con la primera y sexta columna, un "diagrama acumulado barbe". Finalmente, con las columnas primera y última obtenemos un diagrama "tuft".

TABLA 2.14 - Algunos equipos de medición del largo de las fibras textiles ("longuímetros")

EQUIPO	TIPO	FABRICANTE	FIBRA	Distribución de las fibras en la muestra	INFORMACIÓN OBTENIDA
"Baer Sorter"	fibrómetro de peines	-	todas	numérica	diagrama acumulado
"Suter-Webb Sorter"	fibrómetro de peines	SUTER	algodón	numérica	diagrama acumulado
"WIRA"	fibrómetro óptico	WIRA	"top" de lana	numérica	diagrama acumulado
"AFIS" (L&D)	medición óptica de fibras individuales	USTER	algodón	-	histograma y diagrama acumulado
"ALMETER AL 100"	fibrógrafo capacitivo	PEYER	"top" de lana	numérica	histograma y diagrama acumulado
"ALMETER AL 101"	fibrómetro de peines	PEYER	algodón	numérica	histograma y diagrama acumulado
"FIBROGRAPH 430"	fibrómetro óptico	SPINLAB/USTER	algodón	sesgada	diagrama "Tuft"
"CLASSIFIBER KCF/LS"	fibrómetro óptico	KEISOKKI	algodón	sesgada	diagrama "Tuft"
"HVI 900"	incl. fibrómetro óptico	SPINLAB/USTER	algodón	sesgada	diagrama "Tuft"
"HVI 3500/4000"	incl. fibrómetro óptico	PEYER	algodón	sesgada	diagrama "Tuft"



Figura 2.38 - **Equipo Peyer con muestra preparada para su lectura**



Figura 2.39 - **Histograma y Diagrama acumulado en monitor de equipo Peyer**

BIBLIOGRAFIA:

1. "Physical Methods of Investigating Textiles", R.Meredith, J.W.S.Hearle, Interscience, N.Y. 1959 (Capítulo 8: "Fibre Dimension", S.L.Anderson)
2. "Principles of Textile Testing", J.E.Boto, National Trade Press Ltd., London, 1961.
3. "Physical Testing of Textiles", B.P.Saville, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>
4. "Practical Statistics for the Textile Industry", G.A.V. Leaf, The Textile Institute, UK, 1984
5. "Análisis de las Características de Calidad en Fibras de Algodón", USTER News Bulletin, Nº 38, Marzo 1992.
6. "Estudio Técnico de los Parámetros de Longitud de Fibra de Algodón Determinados en los Modernos Longímetros", Antonia Sanchez Vigil, Feliu Marsal Amenos, UPC, Terrassa, (Barcelona), 1994.
7. "Length Related Properties". Cap. 2 en "Cotton Testing", Textile Progress, Vol. 27, Nº 1, The Textile Institute, 1997
- 8- "Peyer Publication 7.80-14.100"

2.6.0- El rizo de las fibras textiles

Algunas fibras naturales, como la lana, presentan **rizo** u ondulaciones a lo largo de su longitud. La medida del largo de la fibra *rizada* se conoce como "**extensión**" para diferenciarle de la medida del largo de la fibra *estirada*. En hilandería, cuando se deben establecer los "ecartamientos" o separaciones entre rodillos de estiraje y entre pinzas y peines en las peinadoras, es quizás más importante conocer la "**extensión**" que el *largo estirado* de la fibra.

El **rizo** influye en: **1)** la **voluminosidad** del hilado, la que a su vez influye en la capacidad de **aislación térmica** del artículo textil: el aire atrapado entre el rizo de las fibras limita la transmisión de calor por los mecanismos de convección; **2)** el **tacto** y en el **aspecto final** del artículo textil, especialmente el **lustre o brillo**; **3)** la **elasticidad**, la **cohesión interfibrilar** y la **resistencia a la abrasión** del hilado; **4)** la **absorción de agua** por mecanismos de capilaridad.

Por todas estas razones a las fibras artificiales y sintéticas, muchas veces se les inserta rizo artificial para que sus propiedades se asemejen a las de las naturales. Esto se logra, en el caso de los filamentos, por medio de los diversos procesos de **texturizado** y en las fibras cortadas por los de "**crimping**".

2.7.0- La forma de la sección de las fibras textiles

En las fibras hechas por el hombre, la **forma de la sección** puede ser establecida, dentro de ciertos límites, a gusto del fabricante. La **forma de la sección** tiene mucha importancia pues influye en: **1)** la **compactación** de las fibras en el hilado, **2)** en el **brillo** (o *lustre*) y en el **tacto** del artículo final, **3)** la "**ensuciabilidad**", pues según la forma de la sección las partículas de suciedad se pueden "esconder" o no, **4)** la capacidad de **absorción de colorantes** debido a la variación del área de intercambio.

Como algunos fabricantes le imprimen formas características a la sección, la observación microscópica es útil para identificar el tipo y origen de la fibra.

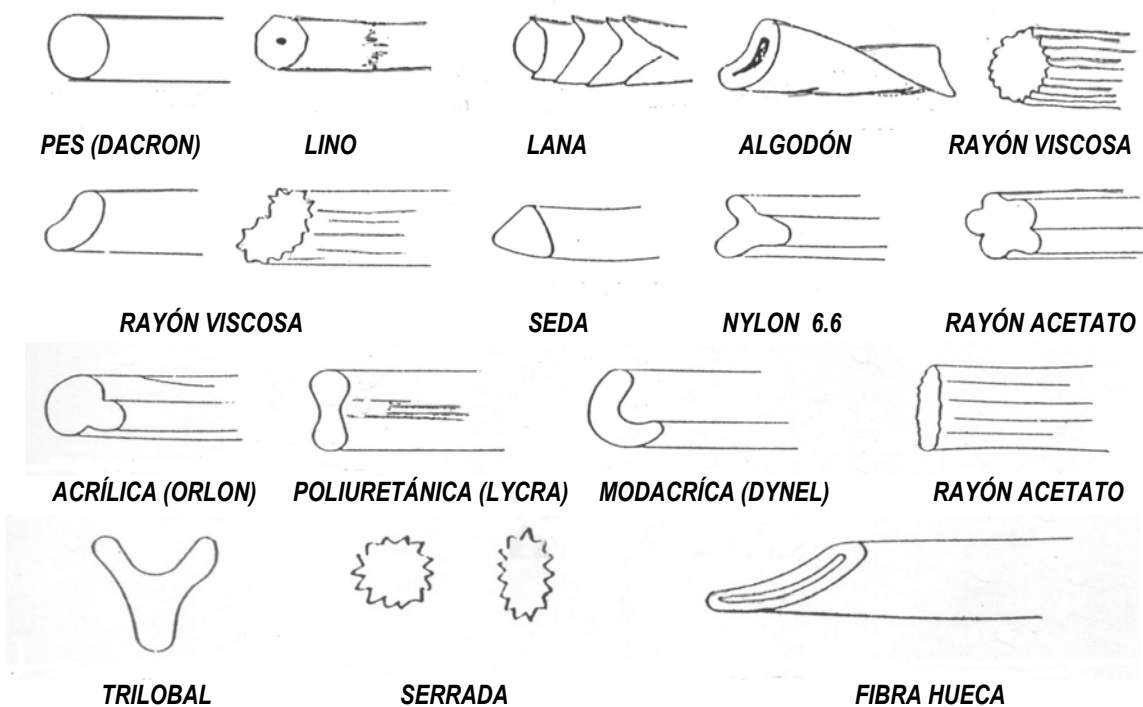


Figura 2.40

2.8.0- La rugosidad superficial de las fibras textiles

La rugosidad superficial es una de las propiedades fundamentales de las fibras textiles pues al ofrecer resistencia al deslizamiento de una sobre otra, permite que sean hilables. La determinación de los índices de fricción estáticos y dinámicos se hace en aparatos especiales, midiendo la tensión antes y después de frotar consigo mismo un hilado hecho con la fibra a ensayar. Los valores se transmiten (a través de un "transducer") a una computadora y a un equipo de registro. Con estos aparatos se puede también evaluar la eficacia de los lubricantes y los ensimajes utilizados en algunas operaciones de hilatura como el cardado y el peinado.

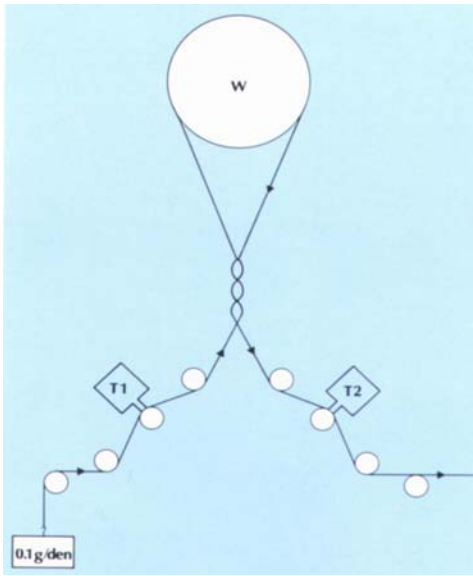


Figura 2.41



Figura 2.42

tomadas de folleto comercial de la empresa Shell

La fricción generada cuando el hilado pasa sobre si mismo o sobre otra superficie es proporcional al ángulo de contacto:

$$t_2 / t_1 = e^{\mu\theta} \quad (\text{Ley de Amontow})$$

donde:

μ = coeficiente de fricción

θ = ángulo de contacto, en radianes

t_1 = tensión antes del contacto

t_2 = tensión después del contacto

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Wool Shrinkage and its Prevention", R.W.Moncrieff, The National Trade Press Ltd. 1953, London
- 2- "Friction in Textiles", H.G.Howell, K.W.Mieszki, D.Tabor, The Textile Institute, Butterworths Scientific Publications, London, 1959
- 3- "Yarn Friction Studies with SITRA Friction-measuring Device". J. of The Textile Institute, vol.79, N° 1, 1988, p. 147-151
- 1- "The Friction of Polyester Staple Fibres", M Grobins et al., Journal of the Textile Institute, vol.79, N° 1, 1988, p. 127-139

3.0.0- COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA QUÍMICA

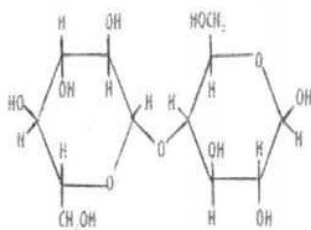
Las fibras textiles son **cuerpos sólidos** con determinadas características *morfológicas* (ver *secciones anteriores*), que están constituidos por **polímeros**, es decir, por sustancias de muy alto peso molecular cuyas moléculas son el resultado de la unión de muchas unidades repetitivas más sencillas o **monómeros**.

LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LA FIBRA DEPENDERÁN DE: 1) el tipo de molécula polimérica que la componen 2) disposición del conjunto de moléculas polímeras presentes	
TIPO DE MOLÉCULA POLIMÉRICA	1- Composición química 2- Peso molecular 3- Cantidad de unidades repetitivas que forman la molécula 4- Largo de la molécula 5- Tipo y cantidad de grupos funcionales presentes
CONJUNTO DE MOLÉCULAS POLIMÉRICAS	1- El grado de orden en que se presentan las moléculas 2- La forma y tamaño de las zonas de orden 3- La distribución de las zonas de orden 4- La orientación de las zonas de orden (especialmente en relación al eje longitudinal de la fibra)

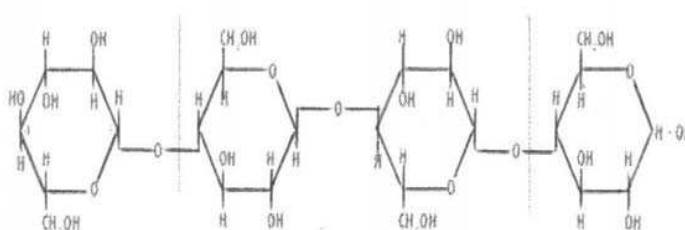
3.1.0- Las moléculas poliméricas

3.1.1- Composición química

La estructura química de las **macromoléculas** o **moléculas poliméricas** que componen las diferentes fibras textiles se discute en los capítulos donde se trata cada fibra textil en particular. Acá, como ejemplo de **macromolécula**, mostramos solo la estructura de la **celulosa** y de su unidad repetitiva, la **celobiosa**, que a su vez es un **dímero** de la **glucosa**:



CELOBIOSA
Unidad repetitiva de la **CELULOSA**
10,3 Amstrongs de largo



CELULOSA
Peso Molecular: 2:000.000 (valor aproximado estimado)
Componente principal del **ALGODÓN** y de las demás fibras
vegetales

Figura 2.47

3.1.2- Peso molecular (PM)

Las propiedades mecánicas de un cuerpo constituido por una sustancia química polimérica - como p.ej. la resistencia a la tracción de las fibras textiles - dependen del **PM**, de la **estructura** y de la **energía de las uniones químicas** de la molécula polimérica.

Tabla 2.18

PESO MOLECULAR	APTITUD PARA FORMAR FIBRAS TEXTILES
<4.000	NINGUNA
4.000-6.000	FIBRAS DÉBILES Y QUEBRADIZAS
6.000-8.000	FIBRAS DÉBILES
8.000-10.000	FIBRAS DE BUENA RESISTENCIA
>10.000	FIBRAS EXCELENTES

Para pesos moleculares (**PM**) mayores a 30.000 la solubilidad del material disminuye y el punto de fusión aumenta rápidamente. Esto establece un límite tecnológico para los polímeros de **fibras hechas por el hombre**. Al menos por ahora estas fibras sólo pueden elaborarse a partir de líquidos (*soluciones o material fundido*) que posean viscosidades suficientemente bajas como para pasar por los “spinnettes”. Como la viscosidad del material es función directa de **la forma** de las moléculas poliméricas y de su **peso molecular**, este no puede ser muy alto.

Las **fibras naturales**, en cambio, tienen **pesos moleculares muy altos** y son por tanto **insolubles** - salvo en solventes especiales que las disuelven provocando un cierto grado de despolimerización - y si se someten a un aumento de temperatura, en presencia de oxígeno, **no funden sino que se queman**. Por su muy alto peso molecular tienen muy altas T_g y T_c (*temperaturas de transición vítrea y cristalina, ver más abajo, Sección 3.5.0*) y por tanto queman en el aire mucho antes que se alcancen esas temperaturas. En la naturaleza, los polímeros como la **celulosa del algodón** o la **queratina de la lana**, son creados por un proceso biológico, a temperatura ambiente y a presión atmosférica, con un crecimiento relativamente lento, gracias a reacciones bioquímicas catalizadas por enzimas. Los polímeros hechos por el hombre se obtienen en cambio, por ahora, por síntesis químicas realizadas, en la mayoría de los casos, a altas temperaturas y presiones.

La **longitud de la molécula polimérica** - alto grado de polimerización (**n**) o alto número de unidades repetitivas o monómeras alineadas a lo largo - contribuye a una alta resistencia a la tracción de la **fibra** textil, pues cuando las moléculas son largas es más difícil establecer un plano de fractura perpendicular al eje de la fibra (Fig. 2.48). Las moléculas de los polímeros termoplásticos (ver Sección 3.3.0) pueden ser **lineales** o **ramificadas**. Los polímeros con muchas cadenas laterales y que a su vez sean ramificadas, aunque tengan un alto **PM**, no son muy aptas para formar fibras textiles.



Figura 2.48

Cuando las moléculas (en azul) son largas, es más difícil establecer un plano de fractura (en rojo) de la fibra

Existirá siempre una mezcla de moléculas con diferentes largos y una dispersión de valores alrededor de un valor medio del largo. *Entonces el **PM** será siempre un valor medio y habrá un coeficiente de variación (CV%) del **PM** que será tanto mayor cuanto mayor sea la dispersión de valores alrededor del valor medio.* Podemos definir un “**PM medio número**” (PM_n) y un “**PM medio peso**” (PM_p).

El “**peso molecular medio número**” (PM_n) es el promedio que resulta de **sumar el **PM** de cada molécula presente y dividir por (N) o cantidad total de moléculas presentes.**

$$PM_n = \sum N_i PM_i / \sum N_i. \text{ Ejemplo:}$$

Cantidad de moléculas		PM de cada molécula	=	Peso del total de moléculas en cada clase
1	x	2.000	=	2.000
10	x	1.000	=	10.000
2	x	500	=	1.000
$N = \sum N_i = 13$				$\sum N_i PM_i = 13.000$

$$PM_n = 13.000 / 13 = 1000$$

El “**peso molecular medio peso**” (PM_p) es el promedio que resulta de **sumar los pesos de cada clase, ponderados o sesgados por el **PM** de cada clase, y dividir ese valor por el peso total de todas las clases.**

$$PM_p = \sum N_i PM_i^2 / \sum N_i PM_i. \text{ Ejemplo:}$$

Peso del total de moléculas en cada clase		PM que corresponde a cada clase	=	Peso del total de moléculas en cada clase, ponderado por el PM de cada clase
2.000	x	2.000	=	4.000.000
10.000	x	1.000	=	10.000.000
1.000	x	500	=	500.000
$\sum N_i PM_i = 13.000$				$\sum N_i PM_i^2 = 14.500.000$

$$PM_p = 14.500.000 / 13.000 = 1115$$

La medición de las propiedades coligativas, es decir aquellas propiedades que dependen de **la cantidad** de moléculas presentes (como p.ej. la *presión osmótica*) nos permitirán determinar el “**PM medio número**” (PM_n). La medición de las propiedades que son influidas por **el tamaño** de las moléculas presentes (como p.ej. la *velocidad de difusión* y la *viscosidad*) nos conducirán al “**PM medio peso**” (PM_p). La medición de la viscosidad de las soluciones de polímeros es un método comúnmente empleado para la determinación del **PM**. Sin embargo, como no es un método absoluto, será necesario preparar previamente curvas de calibración donde cada punto corresponda a una solución de polímero con una dada fracción de **PM**.

3.1.3- Grupos funcionales

Los grupos funcionales presentes en la molécula del polímero son, en general, **grupos polares**. Son responsables, en gran medida, de las propiedades químicas, higroscópicas y tintóreas de las fibras textiles. En la *Tabla 2.19* se muestran los grupos polares característicos de algunas fibras textiles.

TABLA 2.19

FIBRA TEXTIL	GRUPO POLAR
Algodón	-OH
Rayón Viscosa	-OH
Lana	-NH ₂ -COOH -OH -NHCO-
Seda	-NH ₂ -COOH -NHCO-
Poliámidas	-NH ₂ -NHCO-
Poliéster	-COOC-
Olefínica	ninguno

3.2.0- Atributos de los conjuntos de moléculas poliméricas

3.2.1- Grado de orden

Las largas moléculas del polímero pueden estar dispuestas en forma extendida y paralela, plegadas y enredadas entre sí, o pueden estar relativamente cerca o lejos unas de otras, o en una mezcla de estas posibilidades. Esos extremos de **orden** y **desorden** generan respectivamente zonas **crystalinas** y **amorfas** que determinarán gran parte de las propiedades del polímero.

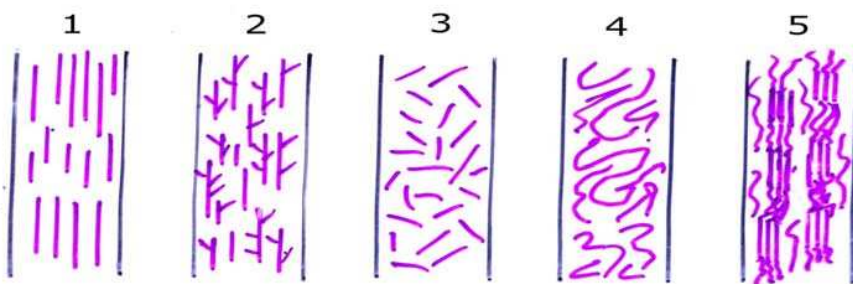


Figura 2.49

- 1- extendidas paralelas, 2- extendidas ramificadas, 3- extendidas no paralelas, 4- no extendidas, 5- con regiones cristalinas

En la formación de zonas ordenadas influyen, además de la disposición y distancia de separación de las moléculas, los **grupos funcionales** presentes y las **fuerzas de interacción** de las moléculas (*fuerzas de Van der Waals, enlaces hidrógeno, electrovalentes y covalentes*).

TABLA 2.20

PROPIEDADES DEL POLÍMERO	EN ZONAS CRISTALINAS	EN ZONAS AMORFAS
HIGROSCOPICIDAD, a igualdad de grupos funcionales polares	menor	mayor
VELOCIDAD DE DIFUSIÓN de moléculas grandes, p.ej. colorantes	menor	mayor
ESTABILIDAD DIMENSIONAL al aumentar la temperatura	mayor	menor
RIGIDEZ	mayor	menor
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	mayor	menor
COMPORTAMIENTO ELÁSTICO PERFECTO	si	no



Figura 2.50

Una misma molécula puede formar parte de zonas cristalinas y amorfas ("fringed theory")

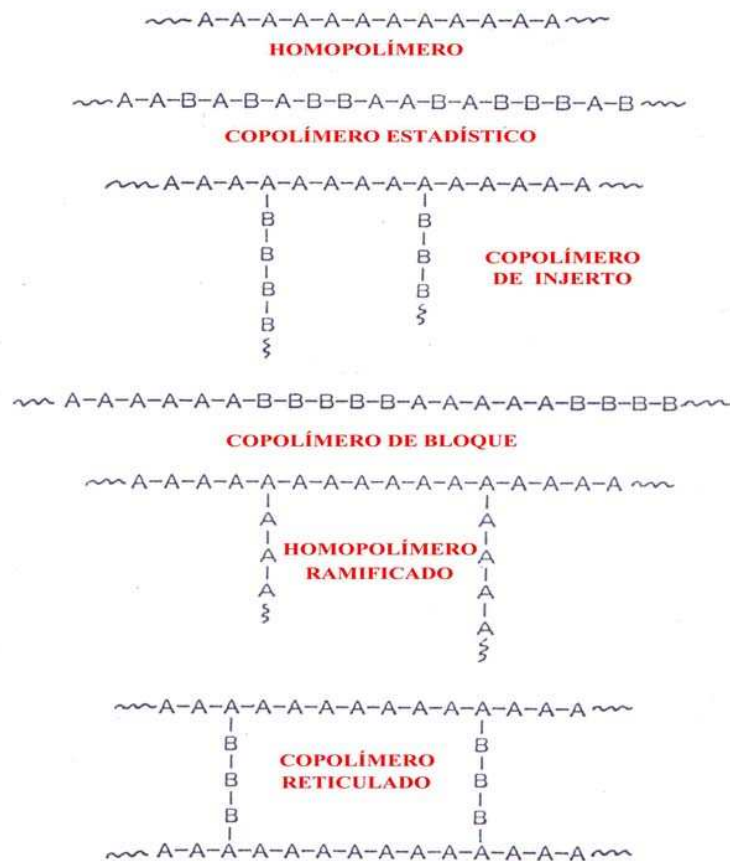


Figura 2.51

DISTINTOS TIPOS DE POLÍMEROS

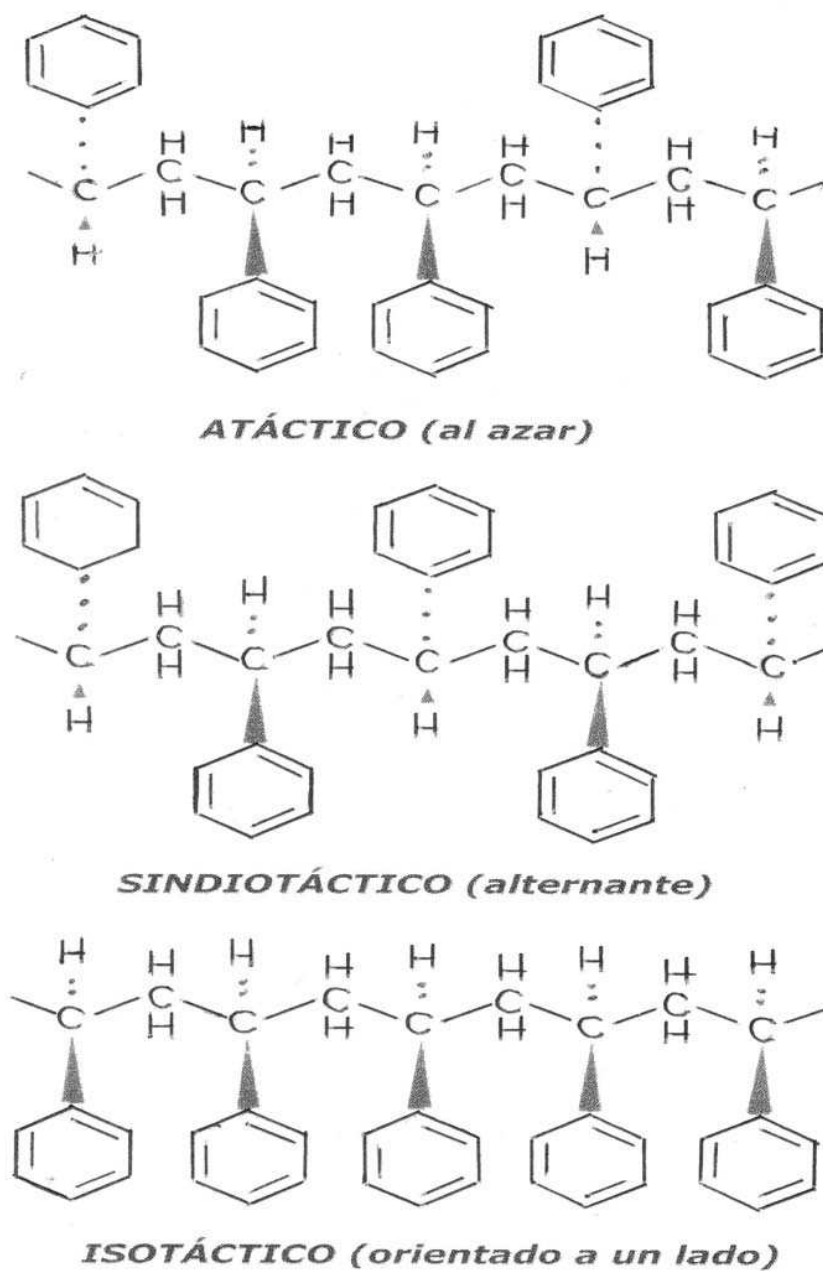


Figura 2.52
DISTINTOS TIPOS DE POLÍMEROS
 (Se utiliza la representación antigua o clásica del núcleo bencénico)

3.2.2- Forma y tamaño de las zonas de orden

Las zonas cristalinas pueden tener distintas formas y tamaños. En muchos casos, estas distintas formas y tamaños se aprecian claramente en el microscopio electrónico.

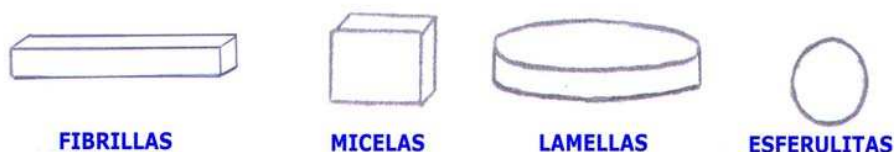


Figura 2.53

DISTINTAS FORMAS QUE PUEDEN ADOPTAR LAS ZONAS DE ORDEN O CRISTALINAS

3.2.3- Distribución de las zonas de orden

Las zonas cristalinas y amorfas pueden estar distribuidas uniformemente o no. En el caso de que la distribución sea uniforme, el polímero tendrá las mismas propiedades en todas direcciones (*isotropía*). En caso contrario el polímero tendrá diferentes propiedades según el eje que se considere (*anisotropía*). En una fibra, las diferencias en el *hinchamiento* y la *resistencia a la tracción* (según el eje considerado), la *birrefringencia* y el *dicroísmo*, son manifestaciones de anisotropía.

TABLA 2.21

HINCHAMIENTO ANISOTRÓPICO		
FIBRA	% de aumento del diámetro aparente	% de aumento del largo
VISCOSA	26,0	3,0 – 5,0
SEDA	18,7	1,7
LANA	16,0	1,2
ALGODÓN	14,0	1,2
POLIAMIDA	5,0	1,2

TABLA 2.22

BIRREFRINGENCIA O DOBLE REFRACCIÓN			
FIBRA	Índice de Refracción		
	n_a (axial)	n_t (transversal)	diferencia
RAMIO	1,596	1,528	0,068
SEDA	1,591	1,538	0,053
POLIAMIDA	1,580	1,520	0,060
POLIETILENO	1,556	1,512	0,044
LANA	1,554	1,544	0,010

En un polímero con un 50% de cristalinidad las posibilidades de distribución de orden serán (ver Figura 2.54): 1) estructura uniforme (A), 2) estructura con un rango uniforme de grados de cristalinidad (B), 3) mezcla no uniforme de regiones amorfas y cristalinas (C) y 4) los infinitos estados intermedios entre A, B y C. ¿Cuál de estos estados será el más estable? La respuesta depende de cómo varíe la *energía interna U* y la *entropía S* con el grado de orden. El tipo de función de variación dependerá de cada tipo de molécula. Serán más estables aquellos estados con una menor *energía libre de Helmholtz*: $F = U - TS$ a volumen constante, como es el caso del estado sólido (ver Figura 2.55).

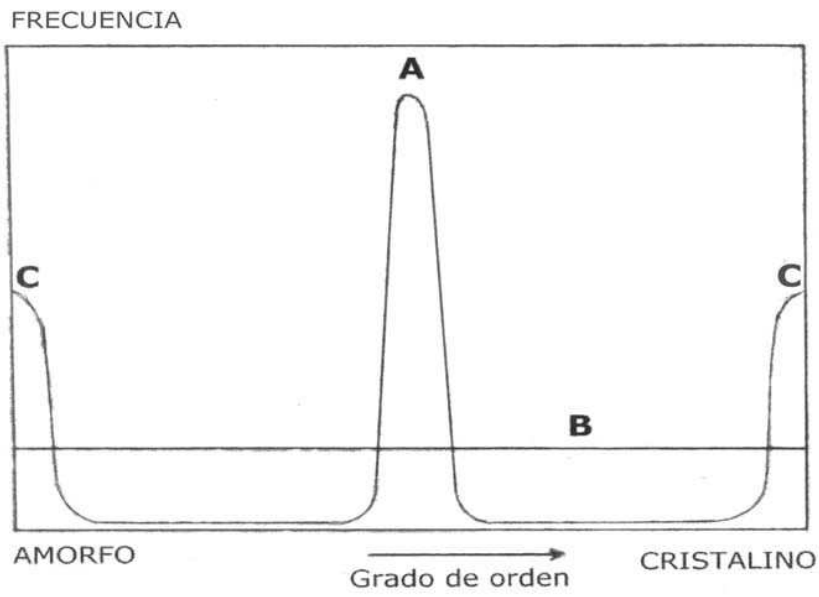
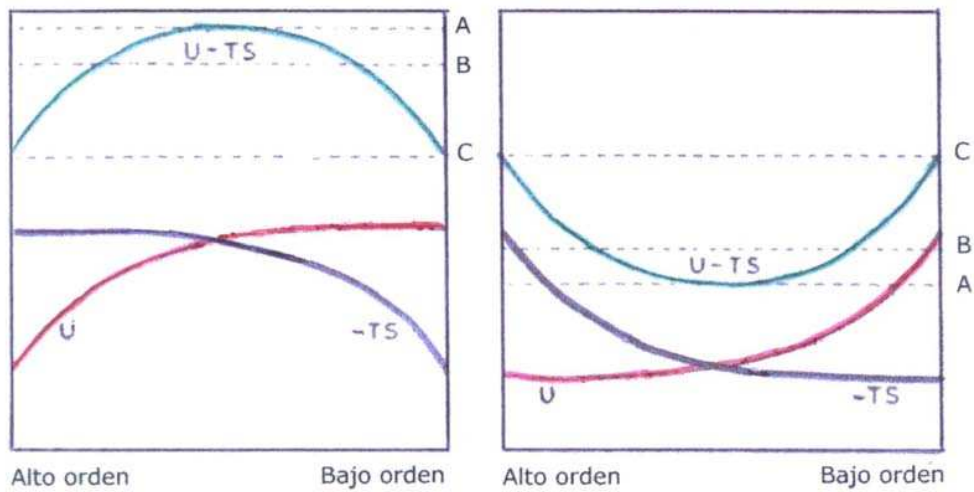


Figura 2.54
 POSIBILIDADES DE DISTRIBUCIÓN DE ORDEN PARA UN POLÍMERO CON 50% DE CRISTALINIDAD



Al aumentar el orden U y S disminuyen (y el valor absoluto de -TS aumenta)
Al disminuir el orden U y S aumentan (y el valor absoluto de -TS disminuye)
SERÁ MÁS ESTABLE LA FORMA DE MENOR ENERGÍA LIBRE
 En el primer caso será más estable la forma C, y en el segundo, la forma A

Figura 2.55
 ESTABILIDAD TERMODINÁMICA SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN DEL ORDEN

3.2.4- Orientación de las zonas de orden

Las zonas cristalinas pueden estar orientadas a lo largo de uno de los ejes de la masa del polímero. La orientación a lo largo del eje longitudinal (*paralela o helicoidal*) de una fibra textil se traducirá en un aumento de la resistencia a la tracción de la misma. El estirado en frío (*“cold drawing”*, *Figura 2.56*) es una operación a la que se somete a algunas fibras químicas para mejorar la orientación de sus moléculas y modificar así sus propiedades. Las diferentes relaciones de estirado, a distintas temperaturas, producen cambios en el orden y orientación del material, lo que a su vez produce cambios en su birrefringencia, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción (*ver Figura 2.57*).

Cuanto más rígidas, ordenadas y orientadas sean las moléculas de un filamento, tanto más difícil resultará texturizarlo. Para el proceso de texturizado será entonces preferible utilizar **filamentos parcialmente orientados** (POY *“Partially Oriented Yarns”*) más que los **totalmente orientados** (FOY, *Fully Oriented Yarns*) (*ver Figura 2.58 y Tabla 2.23*).

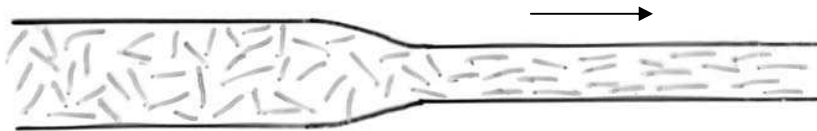


Figura 2.56
ESTIRADO EN FRÍO (-Cold Drawing")



Figura 2.57
COMBINACIONES POSIBLES DE ORDEN Y ORIENTACIÓN

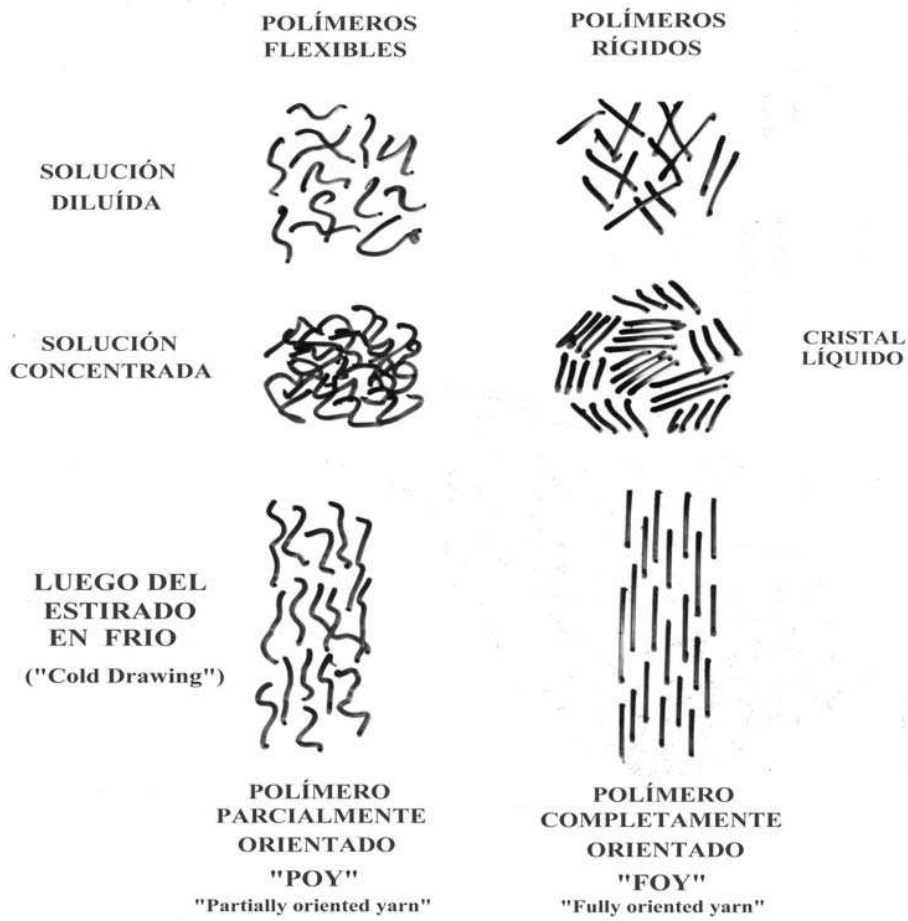
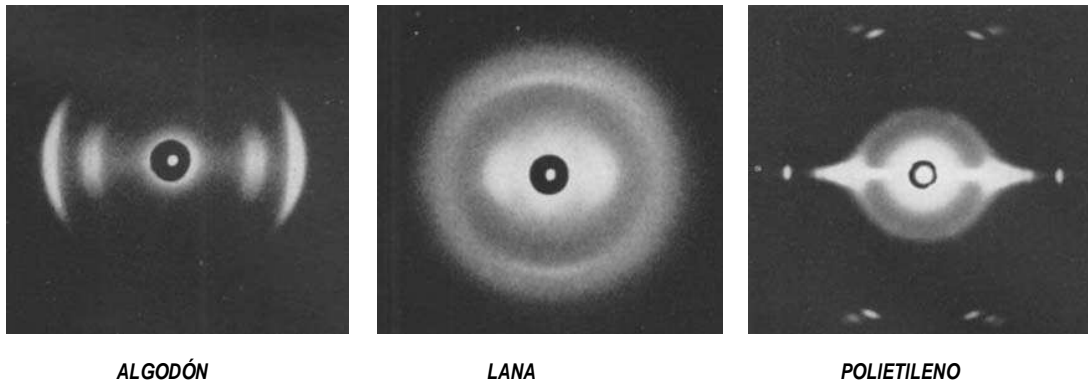


Figura 2.58

TABLA 2.23
EJEMPLO DEL EFECTO DEL ESTIRAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES DE UN FILAMENTO

Relación de Estirado	Cristalinidad % (determinada por RX)	Birrefringencia n	Tenacidad g/dtex	Extensión a la rotura, %	Módulo de Young N/tex
1,45	13,2	0,13	2,08	48,2	3,60
1,55	19,8	0,15	2,52	43,0	4,79
1,65	30,8	0,15	2,89	38,0	4,92
1,75	34,4	0,16	3,02	35,2	4,98
1,85	34,5	0,16	3,19	32,4	5,18

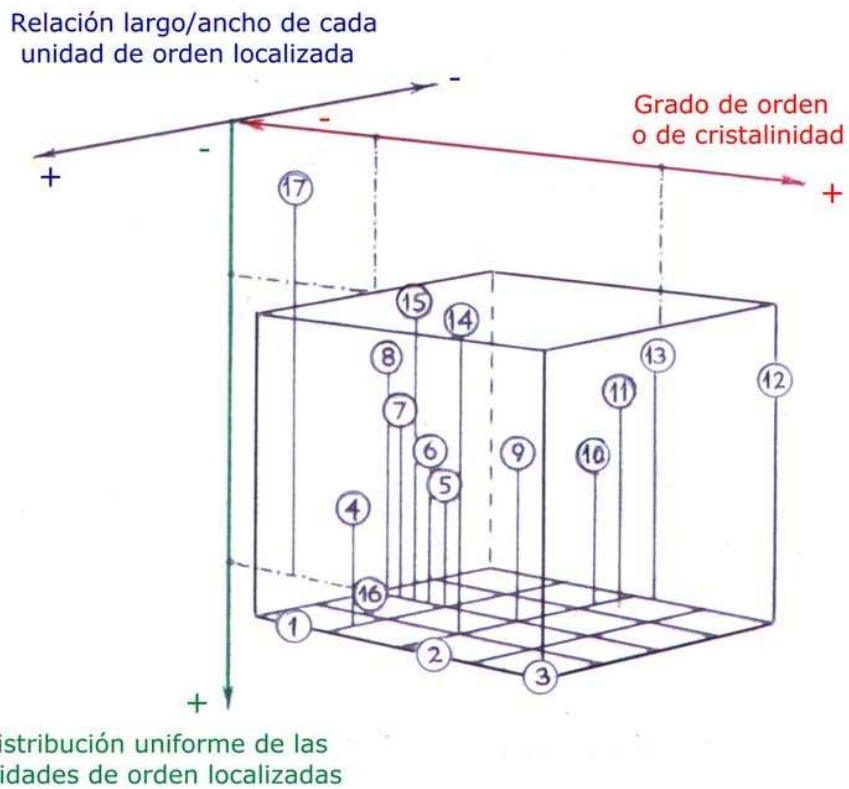


ALGODÓN

LANA

POLIETILENO

Figura 2.59
**IMÁGENES OBTENIDAS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X
 QUE MUESTRAN DISTINTOS GRADOS DE CRISTALINIDAD DE LAS FIBRAS**



UNIDADES RELATIVAS

Figura 2.60

1- LANA, 2- SEDA, 3- ALGODÓN, 4- VISCOSA DE ALTO MÓDULO, 5-VISCOSA COMÚN, 6- TRIACETATO, 7- DIACETATO, 8- PROTEÍNA REGENERADA ("Lanital"), 9- POLIESTER, 10- POLIAMIDA, 11- POLIPROPILENO, 12- POLIETILENO LINEAL, 13- POLIETILENO RAMIFICADO, 14- ACRÍLICA, 15- CLORURO DE POLIVINILO, 16- POLIURETÁNICA, 17- POLIESTIRENO

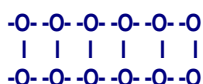
3.3.0- Polímeros termoplásticos y termofraguantes

Para estar en condiciones de formar un **polímero**, un **monómero** debe tener por lo menos dos grupos funcionales, es decir ser **bifuncional**. Una molécula *bifuncional*, si la representamos por un pequeño círculo con dos enlaces (-O-), puede formar un polímero **lineal** o de "**cadena**", así:



Esto no ocurre necesariamente siempre. Algunos monómeros *bifuncionales* en lugar de formar una larga cadena polimérica pueden formar un **anillo** o **ciclo**.

Si, en cambio, el monómero tiene tres grupos funcionales, es decir es **trifuncional**, o tiene más de tres grupos funcionales, está en condiciones de formar polímeros **tridimensionales reticulados**, así:



Generalmente, cuando son calentados los **polímeros lineales** o de "**cadena**" se ablandan en un rango de temperatura - *pues no tienen un punto de fusión determinado* - y al enfriarse vuelven a endurecerse. Por esta razón se les llama **termoplásticos** (ingl. "thermoplastics").

En cambio aquellos monómeros que tengan tres o más grupos funcionales - al polimerizar por calor o por procesos catalíticos - formarán cadenas conectadas entre si, es decir **estructuras tridimensionales reticuladas** dando como resultados sólidos más o menos rígidos. Estos cuerpos sólidos ya no se ablandan al ser calentados. Se dice entonces que "fraguaron" o "curaron". A este tipo de polímeros se les conoce como **termorígidos** o **termofraguantes** (ingl. "thermosetting").

Los **cauchos**, tanto el natural como los sintéticos, son polímeros termoplásticos que, en general, se pueden transformar parcialmente en termofraguantes por el proceso de **vulcanización**. Este proceso consiste en calentar el caucho a altas temperaturas en presencia de **azufre**. Al formarse enlaces entre las cadenas lineales, en los que participa el azufre, el caucho adquiere una estructura reticulada con lo que algunas de sus propiedades se acercan a la de los polímeros termofraguantes.

Todas las **fibras textiles** están constituidas por **polímeros termoplásticos**. Si bien puede haber una cierta cantidad de uniones laterales entre cadenas poliméricas paralelas, no hay un gran reticulado y las cadenas son predominantemente lineales, agrupadas con orden o con desorden como vimos en las secciones anteriores.

3.4.0- Polimerización por adición y por condensación

Las reacciones químicas que se producen durante la polimerización pueden ser principalmente de dos tipos: de **adición** y de **condensación**.

En la polimerización por **adición**, el monómero contiene **dobles enlaces** que al abrirse dan como resultado un grupo bifuncional que forma únicamente un **polímero lineal**, sin ningún subproducto o molécula más pequeña. Los polímeros de adición son, entonces, siempre termoplásticos. La polimerización por **adición**, según los casos, puede realizarse **en masa, en solución, en emulsión o en dispersión**. Ejemplos de polímeros de adición son el polietileno, el polipropileno, el poliestireno y el cloruro de polivinilo.

La polimerización por **condensación** se produce por la reacción de dos o más monómeros con liberación de un compuesto de molécula pequeña como el agua, el amoníaco o el ácido clorhídrico. Las reacciones de policondensación pueden dar como resultado polímeros termoplásticos o termofraguantes, según la funcionalidad de los reactantes. Ejemplos de polimerización por condensación son las resinas fenol formaldehído, las alquídicas, el poliéster, las poliamidas, etc.

3.5.0- Temperaturas de transición

Los polímeros en general presentan por lo menos, dos temperaturas de transición: T_a , **temperatura de transición amorfa** y T_c , **temperatura de transición cristalina**. Siempre T_a es menor que T_c .

Si elevamos la temperatura por encima de T_a las **regiones amorfas** comienzan a pasar del estado sólido a un estado plástico viscoso y el material se hace dúctil y deformable. Al bajar nuevamente la temperatura, la forma que se le haya impuesto cuando estaba plástico, queda fijada.

Si elevamos ahora la temperatura por encima de T_c , las **regiones cristalinas** comienzan a transformarse en amorfas y luego finalmente a ablandarse de tal manera que el material pierde totalmente su resistencia mecánica. Cuanto más alto el peso molecular y más hidrófilo sea el polímero, más altas serán sus temperaturas de transición T_a y T_c . Por ejemplo, los polímeros naturales, como la **celulosa** - componente principal del algodón - de *muy alto peso molecular y muy hidrófila*, tiene temperaturas de transición muy altas y se quemarán en el aire antes de que estas sean alcanzadas. Algunas proteínas que presentan cierto grado de *polimerización tridimensional o "cross linking"*, como la **queratina** - componente principal de la lana - tienen también temperaturas de transición muy altas y, en presencia de oxígeno, se queman antes de que estas sean alcanzadas. A T_a se le denomina también muchas veces **temperatura de transición vítrea T_g** , pues es la temperatura por encima de la cual un polímero se vuelve blando y dúctil, y por debajo de la cual se vuelve duro y quebradizo, como ocurre con el vidrio.

Si un polímero tiene una estructura molecular con predominio de la amorficidad sobre la cristalinidad y además tiene una T_g por debajo de la **temperatura ambiente**, será un **elastómero**, un sólido blando y elástico a temperatura ambiente como las **gomas naturales**, las **sintéticas** y los **filamentos poliuretánicos**. En cambio, si tiene una T_g por encima de la temperatura ambiente, será **termoplástico** y a la temperatura ambiente será duro y hasta quebradizo pero se ablandará al ser calentado, como ocurre con el polietileno, el PVC, etc. De modo que, por regla general *para los polímeros con predominio de la amorficidad sobre la cristalinidad*, los **elastómeros** poseen T_g por debajo de la temperatura ambiente y los **termoplásticos** poseen T_g por encima de la temperatura ambiente.

Por otra parte, cuando hay uniones tridimensionales entre las cadenas poliméricas estas contribuyen a que los elastómeros recuperen su forma original rápidamente. Al formarse **muchos** enlaces covalentes entre las diferentes cadenas poliméricas resulta una única molécula reticulada. Entonces los **elastómeros** (al igual que los **plásticos termorígidos o termofraguantes**) estarían formados por una única gran molécula. Cuando las cadenas poliméricas se encuentran unidas de esta forma, resulta aún más difícil estirarlas, por lo tanto retornan más fácilmente y rápidamente a su forma original.

Por otra parte, los polímeros con uniones entre cadenas no pueden ser reciclados porque no funden. La razón por la que no funden es que las cadenas unidas en forma de red tridimensional, conforman como una única y gigantesca molécula, que hace imposible que el material pueda ser

ablandado como pasta o líquido viscoso para volver a ser moldeado. En cambio, aquellos polímeros en que las uniones **no son covalentes** - como p.ej. los *enlaces hidrógeno* y los *enlaces iónicos* - las uniones entre cadenas lineales son reversibles. Cuando el material se calienta, el reticulado tridimensional se rompe y esto permite que el material se ablande, fluya y pueda ser procesado y reciclado. Al enfriar, el reticulado vuelve a formarse y el material vuelve a endurecerse.

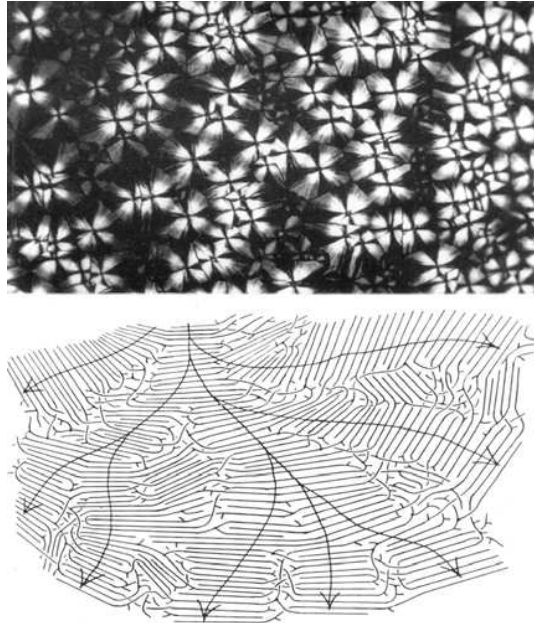


Figura 2.61

(a) Microfotografía de esferulitas de polietileno; (b) Representación esquemática de la supuesta disposición, en esferulitas, de las moléculas poliméricas de polietileno.

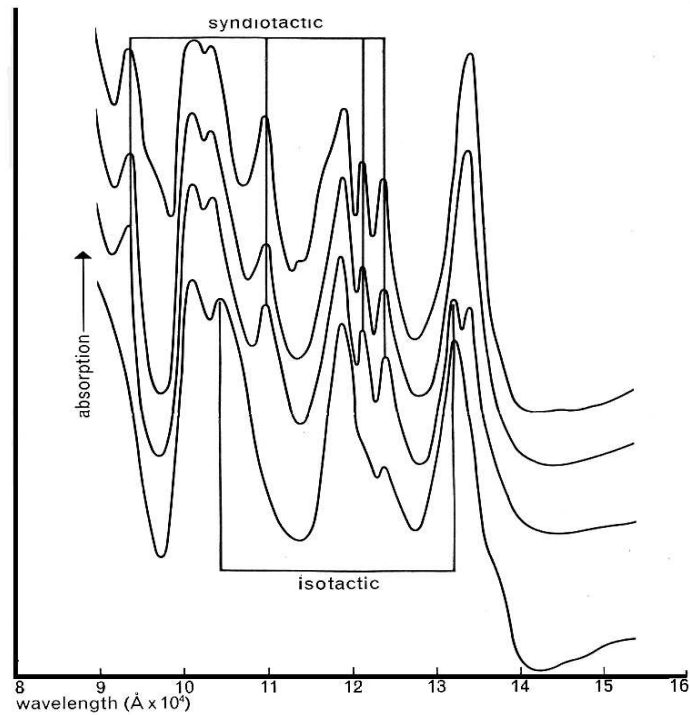


Figura 2.62

Espectro de radiación de infrarrojos de polimetilmetacrilato.
Las regiones iso-tácticas y sindio-tácticas presentan bandas características

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Handbook of Textile Fibres", Milton Harris, Harris Research Laboratories, Inc., Washington, USA, 1954
- 2- "Physics of Fibres", H.J. Woods. The Institute of Physics / Chapman, London, 1955
- 3- "Polymer Technology", D.C.Miles, J.H.Briston, Temple Press Books, London 1965
- 4- "Fiber Chemistry", M. Lewin, E.M.Pearce, Ed. Marcel Dekker Inc., New York, 1985
- 5- "Handbook of Fiber Science and Technology", Ed. M. Lewin, E. M. Pearce. Marcel Dekker, Inc., N.York 1985
- 6- "Structure / Property Relationships in Textile Fibres", S.C.O.Ugbolue, Textile Progress, Vol 20, Nº 4, 1990
- 7- "Fibras Textiles", J. Gacens, Inst. de Investigaciones Textiles, UPC, Terrassa, (Barcelona), España, 1995

INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA TEXTIL

CARATULA

00 - PRESENTACION

01 - ORIGEN Y
EVOLUCION DE LA
TECNOLOGIA TEXTIL

02 - FIBRAS TEXTILES

03 - LA LANA:
COMPOSICION,
ESTRUCTURA Y
PROPIEDADES

04 - LA HILATURA DE
FIBRAS DISCONTINUAS

05 - IRREGULARIDAD DE
MASA EN HILADOS

06 - TEJEDURIA

07 - PROCESOS
HUMEDOS

08 - LA TINTURA TEXTIL

09 - LA ESTAMPACION
TEXTIL

10 - EL COLOR Y SU
MEDICION

11 - LA CONFECCION DE
VESTIMENTA

12 - EL IMPACTO SOBRE
EL MEDIO AMBIENTE

MAPA DEL SITIO

CARATULA

INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA TEXTIL es un Manual producto de la experiencia docente obtenida en el dictado de los Cursos de Tecnología Textil realizados en la Facultad de Ingeniería, desde 1985 hasta 2005, en Montevideo, Uruguay.

Autor: Juan C. Pesok, jpesok@hotmail.com

Introducción a la **TECNOLOGIA TEXTIL**



Juan C. Pesok

I.S.B.N. 9974-39-643-3
Registro de Derechos de Autor N° 400- Libro 28 - 19 / 04 / 04
Montevideo, Uruguay

PRESENTACIÓN

Este *Manual* es producto de la experiencia docente obtenida durante el dictado de los *Cursos de Tecnología Textil* realizados en la *Facultad de Ingeniería* (*) desde 1985 hasta 2005 (*). También este trabajo se ha beneficiado, tanto en el contenido como en la forma, de los valiosos aportes, comentarios y sugerencias realizados por los Ings. Teresa Zinelli, Héctor Camiou, Roberto García Granja, Teresa Aldaya y el Sr. Ruben Visca, todos ellos integrantes del SITA IQ (**).

El *Capítulo I* de la obra trata de presentar un panorama general y resumido de la evolución de la tecnología textil, desde sus remotos orígenes hasta nuestros días. Nos ha parecido conveniente su inclusión por entender que ese conocimiento puede ayudar al estudiante a lograr una mejor comprensión del estado actual de dicha tecnología.

Con respecto al *Capítulo II*, “*Fibras Textiles*”, corresponde señalar que su *Sección 2.5.0*, “*Medición de la longitud de las fibras textiles*”, fue redactada con la colaboración de los profesores *Ing. Rosario Rodríguez* (*) e *Ing. Enrique Testorelli* (*).

Si bien las propiedades y características de la lana se tratan resumidamente en la *Sección 11.0.0* del *Capítulo II*, el tema se vuelve a presentar más extensamente en el *Capítulo III*, en consideración a la importancia que tiene esta fibra para la economía de nuestro país.

Con respecto al *Capítulo V*, “*Irregularidad de Masa en Hilados*”, deseo expresar mi agradecimiento a la firma *Zellweger Uster Ltd.* por autorizarme a reproducir, de su “*Evenness Testing Application Handbook*”, la mayor parte de las figuras y tablas que aparecen en él.

Con respecto a los *Capítulos VII, VIII y X*, “*Procesos Húmedos*”, “*Tintorería Textil*” y “*El Color y su Medición*”, respectivamente, deseo expresar muy especialmente mi agradecimiento al *Dr. Luis Poletti* (*), por haber leído los manuscritos y aportado valiosos comentarios y sugerencias.

Finalmente el *Capítulo XII*, “*El Impacto de las Actividades Humanas sobre el Medio Ambiente*”, pretende ser una breve revisión sobre un tema de importancia creciente. Entendimos que era pertinente incluirlo, como colofón de un trabajo que toca temas relativos a la producción industrial en la que, siempre, debe estar presente la preocupación por minimizar su impacto sobre el medio ambiente.

Al final de cada *Capítulo* (y en algunos casos, al final de algunas *Secciones*), se incluye una lista de referencias bibliográficas para aquellos que quieran profundizar en el estudio de esos temas. Pensando en quienes decidan leer algunos capítulos por separado se han tratado ciertos temas en forma reiterada con la finalidad de mejorar la comprensión general de cada capítulo.

Muchas figuras han sido tomadas de Internet, considerándolas de dominio público. Las tomadas de libros y publicaciones llevan al pie una indicación que permite identificar su origen. En general, las figuras tomadas de libros se reproducen con autorización escrita de sus autores. Si involuntariamente no se hubiere citado el origen de alguna figura, o no se hubiere obtenido la debida autorización para reproducirla, se expresa acá la disposición a corregir esa omisión en futuras ediciones.

Este trabajo es seguramente imperfecto y toda sugerencia para mejorarlo será muy bienvenida. Debe ser considerado sólo como una herramienta para facilitar la tarea de aquellos que se inicien en el estudio de la tecnología textil. Si alcanza esa finalidad, nuestras aspiraciones se habrán cumplido cabalmente.

Juan Carlos Pesok Melo (***)

Montevideo, Junio 2012

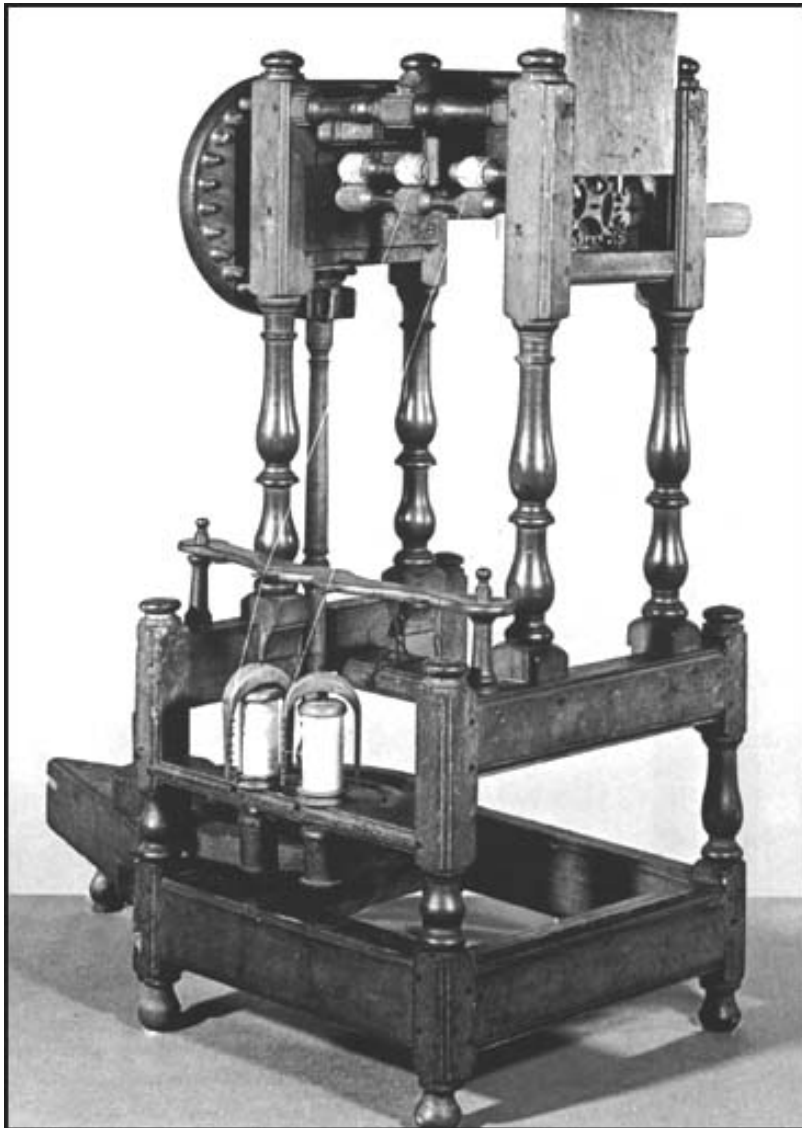
(*) *Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Julio Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay.*

(**) *Sector Textil de la Asociación de Ingenieros Químicos (SITA IQ), Gaboto 1083, Montevideo, Uruguay*

(***) < jpesosk@hotmail.com >

CAPITULO I

ORIGEN Y EVOLUCION DE LA TECNOLOGIA TEXTIL



"WATER-FRAME" de Richard Arkwright (1769)

CONTENIDO	PÁGINA
1.0.0- INTRODUCCIÓN.....	10
2.0.0- ORÍGENES DE LA TECNOLGÍA TEXTIL.....	11
3.0.0- LAS FIBRAS TEXTILES NATURALES.....	11
3.1.0- El Algodón.....	12
3.2.0- El Lino.....	12
3.3.0- La Lana.....	13
3.4.0- La Seda.....	13
4.0.0- LA ELABORACIÓN DE HILADOS A PARTIR DE FIBRAS.....	17
4.1.0- Orígenes de la hilatura.....	17
4.2.0- El torno-huso.....	21
4.3.0- La aleta y el torno de hilar o rueca.....	23
4.4.0- Falsa torsión y torsión verdadera.....	23
4.5.0- El "molinado" de la seda.....	26
4.6.0- Las nuevas máquinas hilanderas y la Revolución Industrial....	28
4.7.0- Métodos de hilatura no tradicionales.....	31
5.0.0- LA ELABORACIÓN DE TELAS A PARTIR DE HILADOS.....	42
5.1.0- Los telares primitivos.....	42
5.2.0- Los telares de tirantes.....	44
5.3.0- La primera máquina de tejer tejido de punto.....	46
5.4.0- El telar de John Kay.....	47
5.5.0- Los telares mecánicos.....	49
5.6.0- El telar de Jacquard.....	51
5.7.0- Los telares modernos.....	54
6.0.0- LA DESMOTADORA DE ALGODÓN DE ELI WITNEY.....	55
7.0.0- LAS FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS.....	60
8.0.0- EL DESARROLLO DE LOS COLORANTES SINTÉTICOS.....	65
9.0.0- LA ESTAMPACIÓN TEXTIL.....	68
10.0.0- LA CONFECCIÓN DE ARTÍCULOS TEXTILES.....	72
11.0.0- APENDICE. LAS MÁQUINAS DE VAPOR....	75
12.0.0- BIBLIOGRAFÍA.....	84
13.0.0- ALGUNOS MUSEOS QUE MEREcen SER VISITADOS.....	84

1.0.0- INTRODUCCIÓN

El concepto de **evolución** está firmemente incorporado al pensamiento moderno. A partir de la publicación de "El Origen de las Especies" de **Charles Darwin**, en 1854, la idea de la creación simultánea de todos los seres vivos pasaría a ser controvertida. Las ideas de **Darwin** junto con las investigaciones de **Louis Pasteur** - que demostrarían en forma concluyente que todo ser vivo nace de otro ser vivo y no por "generación espontánea" - modificaron las concepciones sobre el origen de la vida y constituyen pasos de gigante en la historia del pensamiento humano. Desde ese momento, el concepto general de **evolución** se afirma y pasa a ser aplicable prácticamente a todos los aspectos del conocimiento humano. Se entiende que existe una evolución cósmica, una evolución molecular y una evolución biológica del mundo físico así como una **evolución cultural** de las sociedades humanas. Dentro de esa evolución cultural la evolución de la ciencia y de las técnicas tiene una importancia fundamental. En la **Tabla 1.1** se muestra un esquema de las grandes etapas evolutivas de las sociedades humanas de acuerdo a las formas de vinculación que tuvieron con el **medio ambiente**, con los **recursos energéticos** y con algunos de los **materiales** textiles disponibles.

TABLA 1.1
ETAPAS DE LA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

<i>PERÍODO HISTÓRICO</i>	<i>AÑOS ANTES DEL PRESENTE (inicio aprox.)</i>	<i>RELACIÓN PREDOMINANTE DE LOS GRUPOS HUMANOS CON EL MEDIO AMBIENTE</i>	<i>POTENCIA DISPONIBLE</i>	<i>MATERIALES DISPONIBLES PARA LA ELABORACIÓN DE VESTIMENTA</i>
Paleolítico	5.0 x 10 ⁴	NÓMADE Recolectores y cazadores	MUY BAJA 0.1 Kw (ser humano)	pieles de los animales cazados
Neolítico	1.0 x 10 ⁴	SEDENTARIA con predominio rural. Productores de alimentos con domesticación de plantas y animales	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Antigüedad	3.0 x 10 ³	ídem	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Edad Media	1 x 10 ³	ídem	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Renacimiento	0.6-0.7 x 10 ³	ídem	BAJA 1-10 Kw (animales domésticos, molinos de agua y de viento)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Edad Moderna	0.25 x 10 ³	SEDENTARIA con predominio urbano. Sistema de producción fabril. Gran utilización de combustibles fósiles	ALTA 10 ⁶ Kw ó más (máquinas)	Fibras naturales, artificiales y sintéticas

2.0.0- ORÍGENES DE LA TECNOLOGÍA TEXTIL

Entre 5000 y 10000 años a.C algunos grupos humanos, luego de un lento proceso de desarrollo, superaron la etapa del Alto Paleolítico e ingresaron en el Bajo Neolítico¹. Esos grupos dejaron de ser **nómades cazadores** y **recolectores** para ser **sedentarios** y **agricultores**, domesticando a los animales que antes cazaban y cultivando las plantas que antes recolectaban. Este fue un proceso muy lento en el que, en muchos casos, coexistieron las dos formas de producción de alimentos. Pero allí donde la **revolución agrícola** se afirmó constituyó el inicio de un desarrollo vertiginoso de nuevas técnicas que cambiaron radicalmente la relación de las sociedades humanas con el medio ambiente (*refs. 2, 3, 22*). Entre las primeras técnicas que aparecen hay cuatro muy importantes e íntimamente vinculadas entre sí: la **cordelería**, la **cestería**, la **cerámica** y la **textil**.

La **cestería** fue quizás desarrollada a partir de la observación de nidos y capullos y tiene sus orígenes en el Paleolítico, período en el que se elaboraban redes y trampas tejidas para la caza de animales. Su mayor desarrollo se produce, sin embargo, más tarde, en las comunidades agrícolas del Neolítico que comienzan a utilizar cestas para almacenar granos. Posteriormente, para el almacenado de granos, se utilizarán recipientes cerámicos. La **cerámica** es posterior a la **cestería** pues, antes de la invención del torno alfarero, los cacharros se formaban moldeando las pastas cerámicas dentro de cestas. Se han encontrado restos arqueológicos de recipientes cerámicos que presentan, en su superficie, marcas de la textura de la cesta que los contuvo.

Las cestas se construían seguramente, con tallos y subproductos de las cosechas, como lo evidencian algunos de los restos hallados. Estos materiales se utilizaban con un mínimo de elaboración. En cambio las cuerdas y torzales utilizados para atar animales, como requerían mayor resistencia, se elaboraron uniendo varios tallos y sometidos luego a torsión o a trenzado. La vinculación de la **cordelería** y la **cestería** con las técnicas **textiles** es evidente: la elaboración de cuerdas es en cierta forma el origen de la **hilatura** y la producción de cestas, el de la **tejeduría plana**. La **tejeduría de punto**, por otra parte, tiene su antecedente más probable en la fabricación de redes de pesca (*ref. 3*).

Si bien ya desde aquellos remotos tiempos, el Hombre utilizó los textiles para diversos usos, la **vestimenta** ha sido una de las aplicaciones más importantes. Como una segunda piel, creadora de un microclima portátil, la **vestimenta** le ha protegido del calor y del frío excesivo permitiéndole extender sus comunidades, primero pocas y escasas, a casi todos los rincones de la Tierra, por inhóspitos que estos fueran. La sustitución de las pieles del cazador paleolítico, por los textiles del agricultor neolítico, facilitó una mejor adaptación de las comunidades humanas a la diversidad climática del planeta. La vestimenta ha cumplido también un rol cultural y social muy complejo e importante, marcando diferencias y jerarquías dentro de los grupos humanos.

3.0.0- LAS FIBRAS TEXTILES NATURALES

Desde el Neolítico, y hasta finales del siglo XIX, el hombre solo dispuso de **fibras naturales** para elaborar **hilados** con los que luego tejería telas para después, con estas, confeccionar vestimentas y otros artículos textiles. Como fibras textiles más importantes se destacan cuatro: **el algodón**, **el lino**, **la lana** y **la seda** (*Figuras 1.2 a 1.11*). En la **Tabla 1.2** se indican sus finuras y largos promedios. En consideración a esos valores, a la seda que se obtiene como un largo filamento, se la considera una fibra "**continua**", mientras que al algodón, al lino y a la lana, mucho más cortas que la seda, se las considera fibras "**discontinuas**".

¹ Algunos pocos y aislados grupos humanos son aún hoy cazadores y recolectores, como en el Paleolítico

3.1.0- EL ALGODÓN

Está formado por el conjunto de fibras blancas que rodean las semillas de las plantas del género *Gossypium*. No se sabe con certeza cuanto hace que el hombre conoce el algodón: los indicios más antiguos señalan que era cultivado en el valle del Indo hace unos 5000 años atrás (*culturas Mohenjo-Daro y Harapa*). En la Antigüedad era muy conocida la habilidad de los hindúes para producir hilados de algodón muy delgados y tejer con ellos delicadas muselinas, llamadas “brisa tejida”.

De la India el algodón fue llevado a Egipto y también a China. Sin embargo, en China es probable que no se haya conocido hasta el 700 a.C. Es interesante señalar que el algodón fue también utilizado en América por las culturas precolombinas que, en forma independiente, desarrollaron su cultivo y lo utilizaron mucho antes de que llegaran los españoles. En 1492, cuando desembarcó Colón en una de las islas Bahamas, encontró allí plantas de algodón. En México, se han encontrado restos de algodón de características muy similares a las actuales, con una antigüedad estimada en unos 7000 años.

En Europa el algodón fue introducido por mercaderes árabes alrededor del siglo IX y en el siglo XVI era ya conocido en todo el mundo. Inglaterra importó las primeras telas de algodón alrededor del 1600, muchas de ellas mezcladas con lino y, en 1750, ya se producían en la isla prendas de algodón puro. La importación de algodón desde Norteamérica aumentó gradualmente y en 1790 alcanzó la cifra de aproximadamente 15.000 toneladas. La **Revolución Industrial** y la invención de la desmotadora de algodón de **Ely Whitney** (*ver Sección 6.0.0*), permitieron una gran expansión de la industria algodonera inglesa. En 1802 esa industria era responsable del 5% del ingreso nacional y en 1812 había ya aproximadamente 100.000 hilanderos y 250.000 tejedores trabajando en la industria. En 1830 la mitad del valor de las exportaciones inglesas correspondía a artículos textiles de algodón. Aún hoy el algodón sigue siendo considerado “*la reina de las fibras textiles*” y es una importante fuente de divisas para algunos países en desarrollo y un rubro de gran importancia en la economía mundial (*ref.17*).

3.2.0- EL LINO

La fibra de lino se obtiene del tallo de “*Linum usitatissimum*” y de “*linum perenne*”, plantas aparentemente originarias de Egipto, existiendo pruebas arqueológicas de su existencia desde el 6000 a.C. Las fibras de lino tienen longitudes variables que pueden llegar a 90 cm y finuras promedio de 12 a 16 micrones en diámetro aparente. El lino, al igual que el algodón, está constituido principalmente por un polímero natural, la celulosa. La celulosa del lino, sin embargo, es de más alta cristalinidad que la del algodón, lo que hace que sus hilados y telas sean más resistentes pero también más arrugables. Más del 70% de la producción de lino es destinada a la confección de prendas que, debido a que la fibra absorbe y libera el agua rápidamente, son muy frescas y confortables para usar en climas cálidos.

Los egipcios obtenían hilados de lino muy delgados, que aún hoy sólo se pueden lograr por hilatura manual. Se ha encontrado vendas de momias tejidas con urdimbres de título 246 N_e y tramas de 220 N_e. El lino fue luego cultivado en la Antigüedad por los romanos y difundido por toda Europa por los fenicios. Actualmente es cultivado especialmente en el norte de Europa, en climas de veranos moderadamente húmedos. Es un cultivo de importancia en Rusia, Irlanda, Francia, Bélgica y Holanda donde una hectárea puede rendir de 1.5 a 3.5 toneladas de fibra. El área total dedicada en Europa al cultivo del lino, en el año 2007, se estimaba en 120.000 hectáreas y en 320.000 para todo el mundo. En ese mismo año la Unión Europea lideraba la producción de fibra de lino con 122.000 toneladas seguida por China con alrededor de 25.000 toneladas.

3.3.0- LA LANA

Obtenida de los vellones de ovejas y cabras, la lana se hilaba hace unos 5000 años en los templos de la antigua civilización sumeria, bajo el riguroso control de los sacerdotes (ref. 11). Las ovejas, aparentemente, se difundieron luego desde Medio Oriente hasta la India y, desde allí, más al este aún. La lana fue también ampliamente utilizada por los cretenses, los griegos y los romanos pero no por los egipcios que, por razones religiosas, la consideraban impura. En la Edad Media, la lana de mejor calidad era la inglesa pero, hacia fines del siglo XV, se producía también lana de calidad en el resto del continente europeo. Si bien los volúmenes de producción de la lana siempre fueron mucho menores que los correspondientes al algodón, es una fibra muy apreciada por sus propiedades especiales que la hacen ideal para confeccionar prendas de abrigo. Esas propiedades son fundamentalmente el **rizo** que permite obtener hilados voluminosos con buena aislación térmica así como su mayor liberación de **calor** al absorber humedad.

3.4.0- LA SEDA

La seda es un **filamento doble** producido por glándulas de ciertos gusanos (*especialmente el "Bombyx Mori"*) que se alimentan de hojas de morera blanca y forman un capullo en el que se encierran para, después de un proceso de metamorfosis, emerger como mariposas. Estos gusanos segregan una sustancia proteica, la **fibroína**, que coagula al entrar en contacto con el aire, formando dos monofilamentos que son cementados por una segunda sustancia, la **sericina**, también de naturaleza proteica.

Este *filamento o doble fibra continua* puede llegar a tener un largo de aproximadamente 500 metros (ver Tabla 1.2). Según antiguas leyendas, la seda era ya conocida en China desde el 2700 a.C. de donde luego pasó a la India y al Japón. En el siglo VI d.C., para contrarrestar la nueva competencia de estos dos nuevos productores, los chinos comienzan a producir, como algo novedoso, telas mezclas de seda con algodón. Para ello introdujeron el algodón desde la India y mejoraron mucho su cultivo y la calidad de la fibra. Esto les permitió abaratar costos y competir nuevamente con éxito. La seda era enormemente apreciada ya en Grecia y Roma y luego en Bizancio, a donde llegaba de Oriente siguiendo la famosa "**ruta de la seda**" (Fig. 1). En cambio, la cría de gusanos de seda, o **sericultura**, comienza en Europa recién en el siglo X, especialmente en España y, más tarde, en Sicilia. Pero, también la tejeduría con hilado de seda importado de Oriente se establece firmemente en el norte de Italia, en la región de Lucca. Para el siglo XIV Italia había ya desarrollado la industria sedera más importante de Europa. Las riquezas que se generaron a partir de ella ambientaron, en gran medida, el "movimiento renacentista" que aparecerá el siglo siguiente. La industria de la seda se extendió luego a Francia, especialmente a la región de **Lyon**, y luego a otros países de Europa.

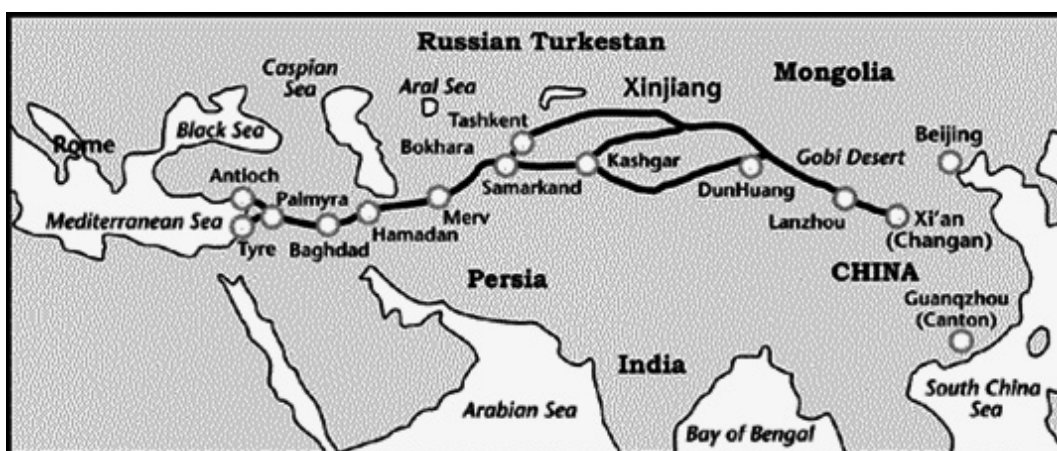


Figura 1.1 - La Ruta de la Seda

En 1271, **Marco Polo** realizó su famoso viaje a Oriente financiado por los mercaderes venecianos y a su regreso, entre otras cosas, trajo **telas** de algodón y de seda que despertaron gran interés. Muy pronto Constantinopla, Venecia y Génova se transformaron en centros de abastecimiento de **telas** de algodón y seda para toda Europa. Pero ya en 1325, en Manchester, se produce hilado y telas de algodón, importando la fibra de la India, y este es el primer gran paso para el desarrollo de la industria textil algodónera de Inglaterra. También en Florencia, Barcelona y Milán pronto se comienza a importar algodón en bruto de la India para hilarlo y tejerlo localmente. El lino y la lana, que eran las únicas fibras textiles que se producían en Europa, comienzan a sufrir la gradual competencia del algodón. Este proceso se acelera cuando, a fines del siglo XV, **Vasco da Gama** descubre una ruta directa por mar a la India y más aún cuando, muchos años después, se comienza a producir algodón en Norte América, con mano de obra esclava. El control de vastas regiones productoras de algodón y el tráfico de esclavos, hicieron que Inglaterra incrementara su poderío. Por otra parte, algunos tejedores hugonotes, huyendo de las persecuciones religiosas en Francia, se radican en Inglaterra y mejoran la calidad de la industria textil. Durante la **Revolución Industrial** se inventan nuevas y revolucionarias máquinas de hilar y de tejer (*ver Sección 4.6.0*). Todo esto hace que la industria textil inglesa alcance una posición predominante que mantendrá por mucho tiempo.

A partir de la segunda mitad del siglo XIX se desarrollan las **fibras artificiales** y luego - en la primera mitad del siglo XX - las **fibras sintéticas**. Estas fibras, hechas por el Hombre, se sumaron a las **fibras naturales** para aumentar así la variedad de opciones disponibles para el diseño y producción de artículos textiles (*ver Sección 7.0.0*)

¿QUÉ SE ENTIENDE POR "TECNOLOGIA"?

*Estrictamente, por **tecnología** debería entenderse el "estudio de las técnicas". Sin embargo muchas veces los términos "tecnología" y "técnica" se usan para referirse a lo mismo, es decir "el desarrollo y la utilización por el hombre de materiales, herramientas, máquinas y procesos para resolver los diferentes problemas que se le plantean en su relacionamiento con el medio ambiente y con su entorno social". Antiguas invenciones o desarrollos como el fuego, la rueda, las primeras herramientas, etc., y el uso que de ellos se hizo, son ejemplo de "técnicas" o "tecnologías". La **tecnología** antecede a la **ciencia** y de la unión de ambas nacerá la **ingeniería**. Podría también definirse a la **tecnología** como el nivel de conocimientos de que dispone el Hombre para combinar recursos y obtener diversos productos. Cada época histórica está caracterizada por un nivel de tecnología y se habla de **cambio tecnológico** cuando el nivel de esos conocimientos técnicos cambia y/o se incrementa.*

¿QUÉ ES UNA FIBRA TEXTIL?

- 1) es un cuerpo sólido, de forma aproximadamente cilíndrica
- 2) relativamente flexible,
- 3) macroscópicamente homogéneo,
- 4) con una muy alta relación de dimensión longitudinal a dimensión transversal
- 5) con una pequeña sección transversal, del orden de los micrones.
- 6) que sea **HILABLE**, es decir que sea capaz de formar con otras fibras un conjunto en el que todas estén más o menos **paralelizadas**. Este conjunto o "**mecha**" o "**cinta**", debe estar en condiciones de ser **estirado** y recibir **torsión** sin perder cohesión. Para ello las **fibras textiles** deben tener, **además de las características generales de toda fibra (1 a 5) una alta resistencia a la tracción** y, especialmente en el caso de las **fibras discontinuas**, un **alto índice de fricción fibra / fibra**.

**TABLA 1.2 *FIBRAS NATURALES
RELACIÓN "LARGO / DIÁMETRO APARENTE"**

<i>FIBRA</i>	<i>LARGO, L mm (*)</i>	<i>DIÁMETRO APARENTE, ϕ_a micras (*)</i>	<i>RELACIÓN $L : \phi_a$</i>	<i>TIPO DE FIBRA</i>
LANA	25-250	15-35	$1.7-7.0 \times 10^3$	discontinua
LINO	9-70	5-35	$0.25-14.0 \times 10^3$	discontinua
ALGODÓN	25-50	12-21	$1-4 \times 10^3$	discontinua
SEDA	5×10^5	3-20	$2.5 \times 10^7-1.6 \times 10^8$	continua

(*) valores típicos



Figura 1.2 Lana



Figura 1.3 Lino



Figura 1.4 Algodón



Figura 1.5 Seda

MICROFOTOGRAFÍAS DE FIBRAS TEXTILES

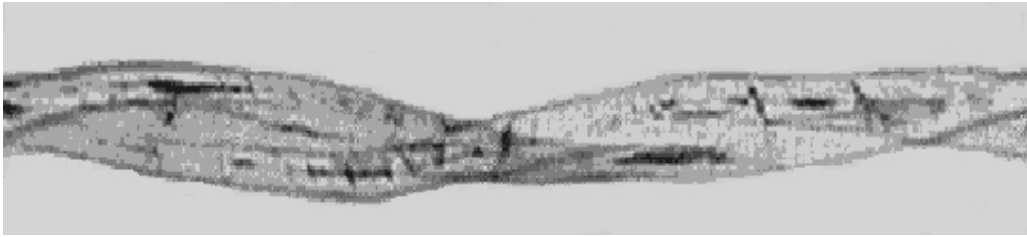


Figura 1.6 - Algodón



Figura 1.7 - Lana

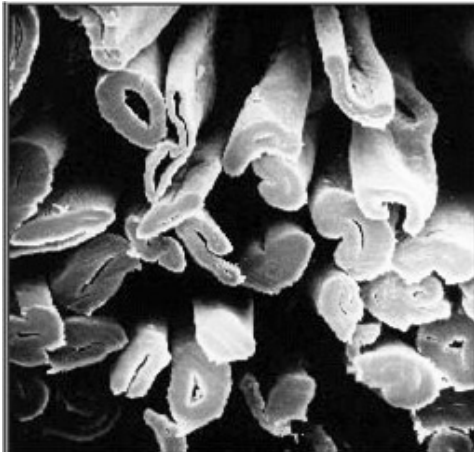


Figura 1.8 - Corte transversal de fibras de algodón



Figura 1.9 - Corte transversal de filamentos de seda

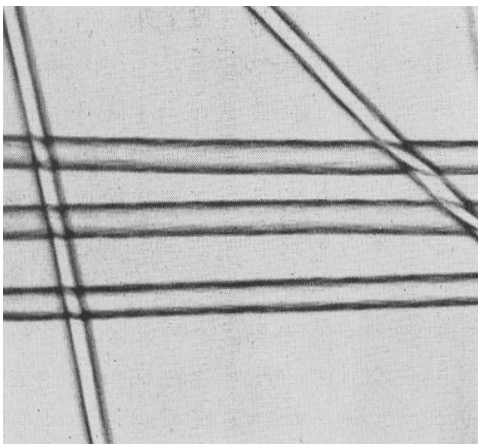


Figura 1.10 - Fibras químicas (artificiales o sintéticas)

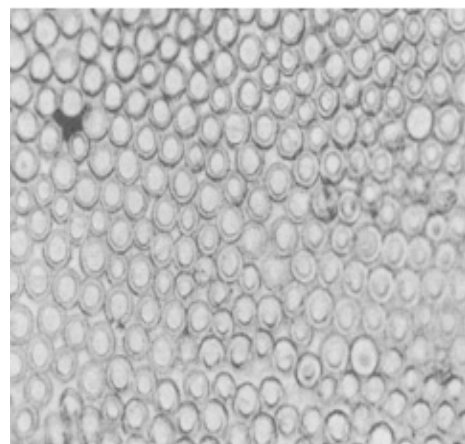


Figura 1.11 - Corte transversal de fibras químicas

4.0.0- LA ELABORACIÓN DE HILADOS A PARTIR DE FIBRAS

4.1.0- ORÍGENES DE LA HILATURA

Para elaborar un hilado de **seda**, es necesario sumergir los capullos en agua hirviendo para matar las crisálidas. Luego deben separarse cuidadosamente los **filamentos** – que forman los capullos - evitando que se corten, unir varios de ellos y bobinarlos juntos, insertándoles algo de torsión. Esta operación es conocida como “**molinado**” de la seda (ver *Sección 4.5.0*).

Pero, la hilatura con **fibras discontinuas** o “**cortas**”, como el **lino**, el **algodón** o la **lana**, es muy diferente a la hilatura con filamentos como los de seda (ver *Tabla 1.2*). En el caso de las fibras discontinuas es necesario realizar un proceso más complejo que consta de cuatro operaciones básicas: **1) paralelizado de las fibras discontinuas para formar una cinta o mecha**, **2) estirado de la cinta o mecha**, **3) inserción de torsión a la cinta o mecha** y **4) bobinado del hilado finalmente obtenido**. Antiguamente estas operaciones se realizaban manualmente, una después de otra. Se paralelizaban las fibras hasta formar una **mecha** que luego se estiraba hasta alcanzar el grosor deseado. Finalmente se le insertaba torsión a la mecha y el **hilado** así obtenido se bobinaba. La torsión se insertaba haciendo rodar la **mecha** entre las palmas de la mano, o entre la palma de la mano y otra superficie como la parte superior del muslo (ver *Figura 1.12*). Para este fin en la antigua Grecia las hilanderas utilizaban una pieza, generalmente de cerámica, el **epinetrón**, que se adaptaba a la parte superior del muslo y tenía una zona rugosa sobre la que se hacía rodar la mecha a los efectos de insertarle torsión (ver *Figura 1.13*). Sin embargo, de esta forma no era posible obtener hilados tan delgados como cuando se utilizaba el **huso**, una herramienta sencillísima que, probablemente, es más antigua que el **epinetrón**.

El **huso**, en sus orígenes, no era más que un palo con una **muesca** en uno de sus extremos y un contrapeso, o “**nuez**”, en el otro (ver *Figura 1.14*). La hilandera - pues este trabajo era desempeñado preferentemente por las mujeres - iba tomando pequeñas cantidades de un conjunto de fibras para formar una **mecha**, estirándola manualmente. Ataba luego el extremo de la mecha al cuerpo del **huso** y, pasándola por la **muesca**, dejaba caer el **huso** de tal forma que el giro del contrapeso se trasladaba al tramo de **mecha** sujeta entre la muesca y la mano del hilandero, insertándole torsión. Finalmente bobinaba en el **huso** lo que ya era un **hilado**: el tramo de mecha estirada y torsionada. El ciclo se repetía hasta llenar el huso con una buena cantidad de **hilado** (ver *Figuras 1.16 a 1.21*). Con el **huso** manual las cuatro operaciones básicas de la hilatura, **paralelizar, estirar, torsionar, bobinar**, solo se pueden realizar en forma “**discontinua**”. Los esfuerzos para realizar esas cuatro operaciones en forma “**continua**” forman parte de la historia de las máquinas de hilar modernas (refs. 4, 5 y 6).

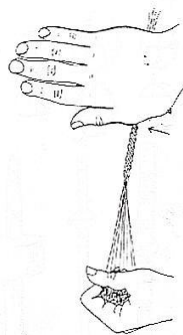


Figura 1.12
Hilatura manual

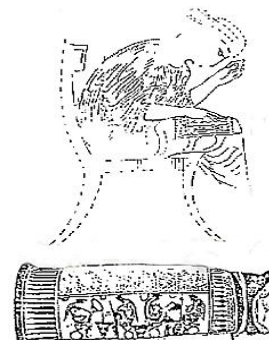


Figura 1.13
Epinetron griego, c 500 a.C. (ref. 3)

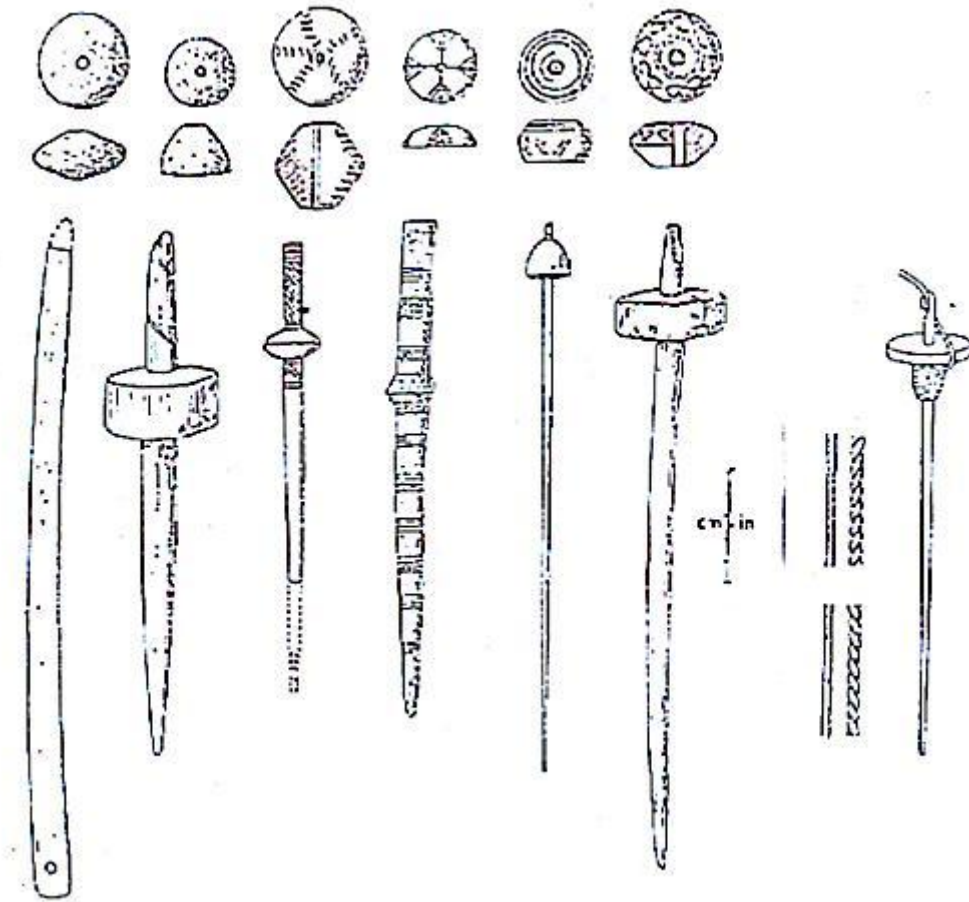


Figura 1.14
Husos de hilar con sus contrapesos correspondientes a diversas culturas (ref.3)

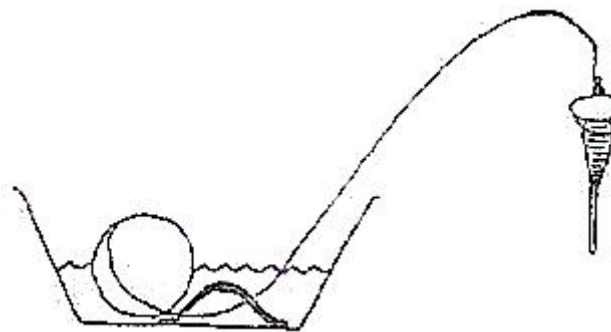
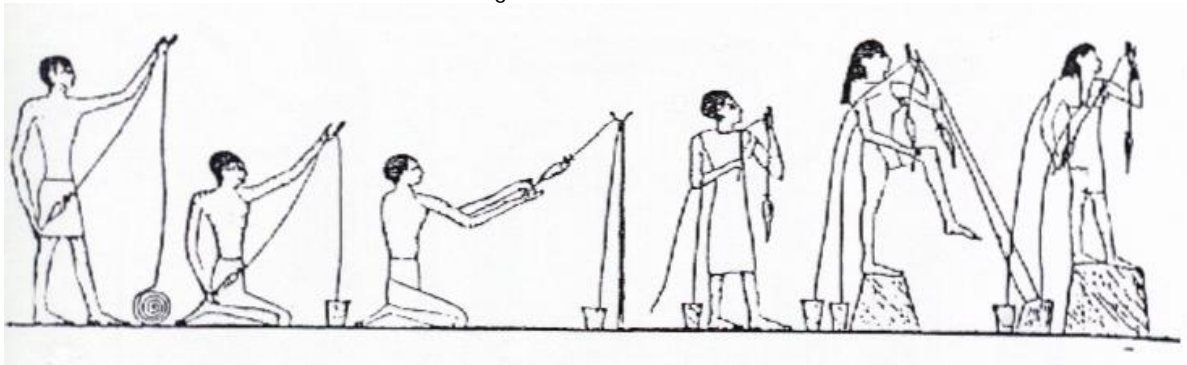


Figura 1.15
Para hilar fibras vegetales como el lino o el cáñamo, más fáciles de trabajar en húmedo, se sumergía el material en agua, utilizando vasijas con un anillo en su fondo por el que se hacía pasar la mecha (ref.7).

Figura 1.16



Hilando con huso. Mural de la tumba de Khéty, Beni Hasan, Egipto c. 1900 a.C.



Figura 1.17
Hiladero. Beni Hasan, Alto Egipto, c. 1900 a.C.



Figura 1.18
Hiladera hitita y escriba con tableta de arcilla.
Bajo relieve, Maras, Turquía, c 800 a.C. (ref.7)



Figura 1.19. Mujeres hilando con huso y tejiendo en telar vertical con la urdimbre tensada por contrapesos (ref. 7).



Figura 1.20
Mujer hilando con huso (de un vaso griego, c.490 a.C.)
(ref. 7)



Figura 1.21
Hilando con huso y soporte de fibras ("ruca")
(ref. 3)

4.2.0- EL "TORNO-HUSO"

Desde fines de la Antigüedad y a comienzos de la Edad Media se populariza en Europa el "torno-huso" (ingl. "spinning wheel"), que representa un importante adelanto en las técnicas de hilar. Consiste simplemente en un huso colocado en forma horizontal y movido por una polea conectada a una rueda (ver Figuras 1.22 a 1.26). La hilandera, con el hilado enganchado en la **muesca** del huso, sostiene con una mano el tramo de mecha a ser torsionada, formando con el eje del huso un ángulo mayor a 90°. Con la otra mano hace girar la rueda e inserta torsión. Una vez aplicada la torsión, desengancha el hilado de la **muesca**, lo coloca ahora a 90°, es decir, perpendicular al eje del huso y, volviendo a girar la rueda, bobina el hilado en el huso. Las cuatro operaciones básicas de la hilatura siguen siendo discontinuas pero la **inserción de torsión** y el **bobinado** se hacen en forma más cómoda y rápida.

Se estima que el "torno-huso" es originario de la India, donde se utilizó mucho antes que en Europa. Durante el proceso de independencia de la India **Mahatma Gandhi** instó a los hindúes a que hilaran algodón con "torno-huso", tejieran sus telas y confeccionaran sus propias prendas. Con esta producción artesanal se pretendía sustituir la importación de artículos textiles industriales hechos en Inglaterra - con algodón hindú obtenido a bajo precio - y afirmar así la independencia de la India. El "torno-huso" o "*charkha*" - nombre por el que se le conoce en la India - es entonces un símbolo de la resistencia anticolonial del pueblo hindú y está representado hoy, simbólicamente, en su bandera (ver Figuras 1.26 a 1.27). El funcionamiento de la *charkha* es asociado por los hindúes al continuo y eterno devenir del tiempo y de la vida. Es también considerado como una fuente de equilibrio y meditación.

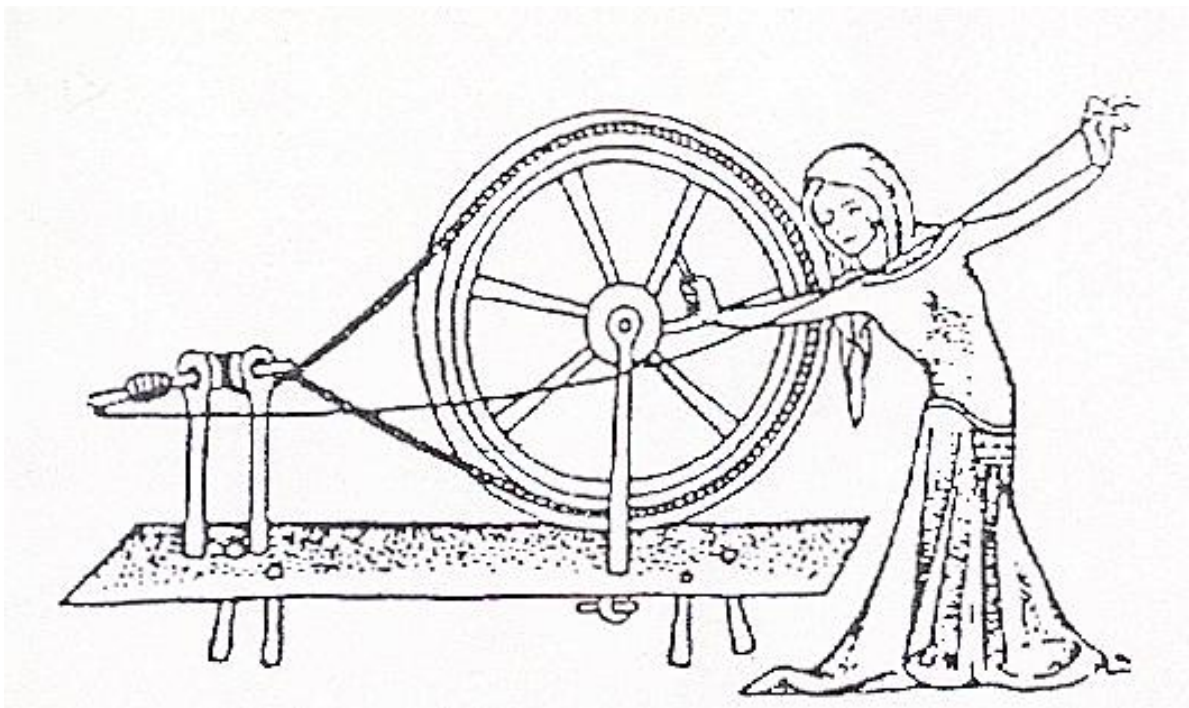


Figura 1.22. Torno-huso ("spindle-wheel"), c. 1338 (ref.3)



Figura 1.23

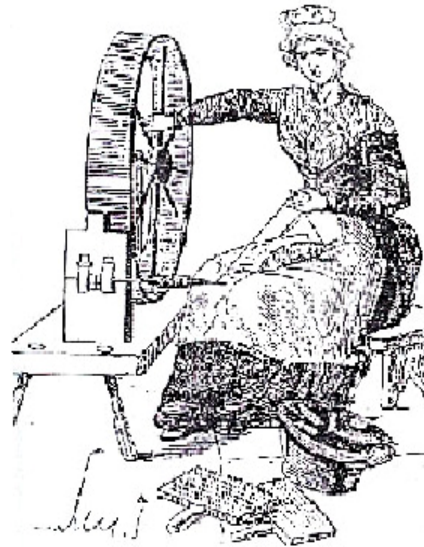


Figura 1.24

El Torno-huso era conocido en Europa también con los nombres de "rueda manual" o "rueda indostana"

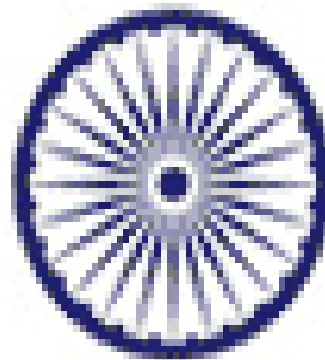


Figura 25

"Las Hilanderas" de Diego Velázquez (*Museo del Prado, Madrid*)



Mahatma Gandhi hilando con "charkha" o torno-huso c. 1945



Símbolo del "charkha" que figura en el centro de la bandera de la India

4.3.0- LA ALETA Y EL TORNO DE HILAR

A finales del Renacimiento se populariza en Europa un invento que revolucionará la hilatura. Se trata del “**torno de hilar**” que no es más que un “**torno-huso**” al que se le incorpora una pieza sencilla pero extremadamente ingeniosa y revolucionaria: la “**aleta**”. La creación de la **aleta** se atribuye a **Leonardo Da Vinci**, si bien algunos afirman que esta ya se conocía en Oriente desde antes.

El funcionamiento de un torno de hilar es como sigue: la **aleta** puede girar solidaria con el **huso** o en forma independiente a este. El hilado que se produzca será bobinado en el **carrete**, que se inserta en el **huso**. Al girar el huso la mecha avanza continuamente pasando a lo largo de uno de los brazos de la “**aleta**” (ver *Figura 1.31*). De esa manera, la mecha recibe **torsión** y el **hilado** es **bobinado** en forma **continua** en el **carrete** (*la mecha se va convirtiendo en hilado a medida que recibe torsión*). Por medio de pedales y poleas transmisoras se puede hacer girar el **huso** y la **aleta** en forma simultánea de manera que a la hilandera le quedan ambas manos libres para paralelizar y estirar la mecha, lo que acelera y hace más fácil el proceso de hilatura. Con el **torno-huso**, por primera vez, se logran hacer en forma continua, las dos últimas operaciones del proceso de hilatura: la **inserción de torsión** y el **bobinado**.

El “**torno de hilar**” es conocido también como “**rueca**”, si bien este nombre corresponde, más estrictamente, al soporte auxiliar que sostiene la masa de fibras de la que la hilandera manual iba tomando material para formar la mecha. El “**torno de hilar**” o “**rueca**” es utilizado, aún hoy, por muchos hilanderos artesanales.

4.4.0- FALSA TORSIÓN Y TORSIÓN VERDADERA

Si un tramo de mecha se sujeta con una mano por un extremo mientras que con la otra mano se hace rotar el otro extremo - siempre en un mismo sentido de giro - el tramo de mecha entre las dos manos recibirá **torsión**. Esta torsión será derecha (**S**) o izquierda (**Z**) según que el giro sea en sentido horario o anti horario, respectivamente. Una vez que se inserta torsión a una mecha podemos decir que ya es un hilado que puede ser bobinado. Si se inserta torsión de esta manera, a tramos sucesivos de mecha, todo el hilado que se bobine quedará con torsión **verdadera**, así llamada en contraposición a la **falsa torsión** que describiremos más abajo. En la **hilatura discontinua** con **huso** y con **torno huso** el hilado recibe este tipo de **torsión verdadera**.

Supongamos ahora que el tramo de mecha está **sujeto en sus extremos** - *puntos 1 y 2 de la Figura 1.28* - y que en el punto medio **T**, equidistante entre esos dos extremos, se inserta torsión con el giro indicado. En el tramo de mecha comprendido entre el punto **T** y el extremo izquierdo fijo, la torsión insertada será **derecha (S)**. En el otro tramo, comprendido entre **T** y el extremo fijo derecho, la torsión será contraria, es decir **izquierda (Z)**. Ambos tramos, de igual longitud, habrán recibido **torsión verdadera** pero de sentido contrario.

Supongamos ahora que el tramo de mecha considerado está sostenido, en cada uno de sus extremos, por las gargantas de dos pares de rodillos. Estos rodillos, con su giro, permiten que toda la **mecha avance** de izquierda a derecha, como se indica en la *Figura 1.29*. Si la torsión se inserta en el punto medio **T** - equidistante de las gargantas de cada par de rodillos - la torsión será, igual que en el caso anterior, **derecha (S)** entre el punto intermedio **T** y la garganta del par de rodillos izquierdo e **izquierda (Z)**, entre **T** y la garganta del par de rodillos ubicado a la derecha. **Pero como la mecha avanza de izquierda a derecha**, la torsión **S** recibida en la primera mitad izquierda se irá anulando a medida que pasa el punto **T** y recibe la torsión **Z** contraria correspondiente al tramo de la derecha. Entonces la mecha, a medida que avanza de

izquierda a derecha, quedará finalmente sin torsión **verdadera** pero, sus fibras, conservarán un cierto grado de "enredo" entre ellas. Se dice entonces que la mecha recibió "**falsa torsión**".

Si ahora consideramos el caso en que el punto T de inserción de torsión, en lugar de estar en un punto intermedio, está muy cerca del par de rodillos de salida de la derecha (*ver figura 1.30*), la cantidad de torsiones contrarias recibidas en el tramo derecho – ahora mucho más corto en relación al izquierdo - no serán suficientes para anular la cantidad de torsiones recibidas en ese tramo izquierdo. Por tanto en este caso la mecha saldrá con un saldo positivo de **torsiones verdaderas**. Esto es lo que, en definitiva, ocurre en las **ruecas**, donde el punto T de inserción de torsión corresponde a **la punta del brazo de la aleta** (*Fig. 1.31*). La pequeña distancia que va desde la punta del brazo de la aleta al punto de bobinado sobre el carrete, correspondería al tramo corto ubicado a la derecha en la *Figura 1.30*.

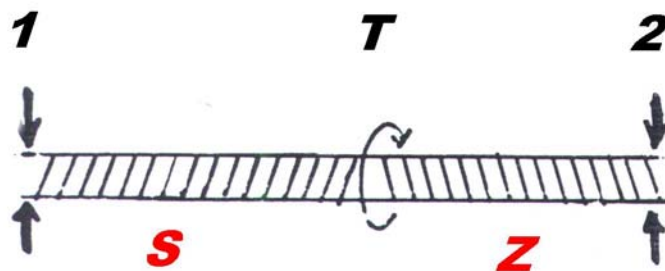


Figura 1.28

Si ambos extremos de la mecha están fijos, los dos tramos, a la izquierda y a la derecha del punto de inserción de torsión T, reciben **torsión verdadera** pero de sentido contrario

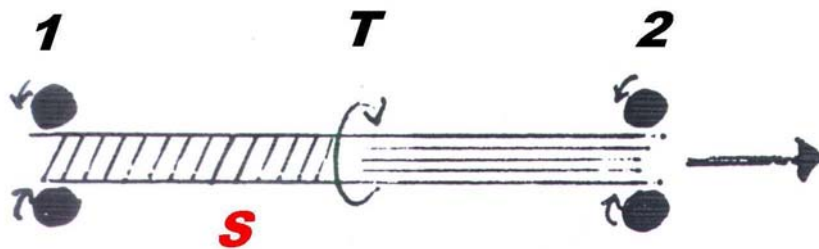


Figura 1.29

Si el punto de inserción de torsión T está equidistante de ambos pares de rodillos, la mecha sale con "**falsa torsión**", pues a la derecha de T recibe la misma cantidad de torsiones que a la izquierda, pero de sentido contrario.

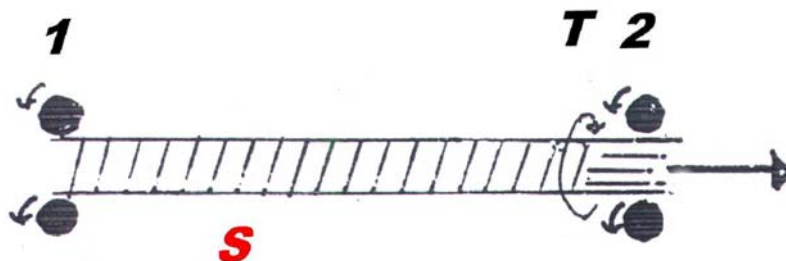


Figura 1.30

Si el punto de inserción de torsión T está muy cerca de los rodillos de salida, la mecha no recibe suficientes torsiones contrarias y por tanto sale con un balance positivo de **torsión verdadera** S

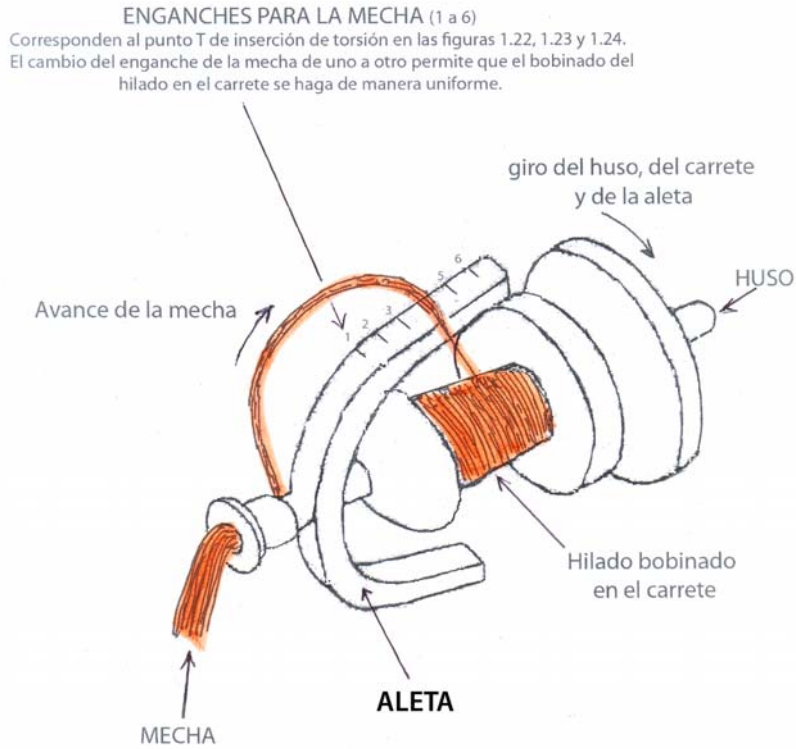


Figura 1.31

El giro del huso hace girar el carrete. El giro del carrete tira del hilado para bobinarlo. La aleta gira tirada por el hilado que se bobina. El hilado se forma porque la mecha recibe torsión por el giro de la aleta.

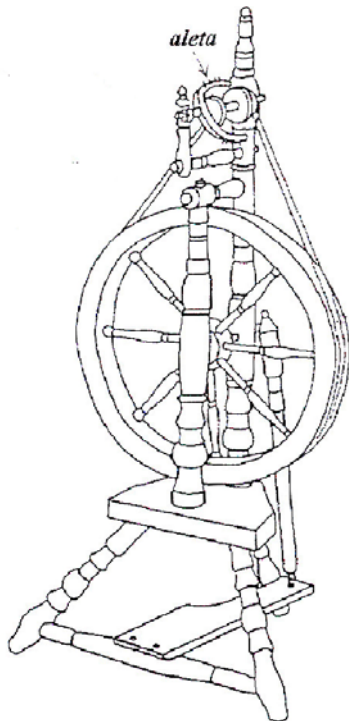


Figura 1.32 y 1.33 - Tornos de hilar o "ruecas"

La "aleta" permite insertar torsión a la mecha al mismo tiempo que se bobina el hilado en forma continua. El pedal hace girar simultáneamente el huso, el carrete y la aleta. La hilandera tiene las manos libres para estirar y alimentar mecha. En la Fig. 1.27 vemos a una anciana hilando con rueca irlandesa a fines del siglo XIX (foto tomada de Wikipedia)

4.5.0- EL MOLINADO DE LA SEDA

El antecedente más próximo a la extraordinaria invención que significó la “**aleta**” es seguramente, el “**molinado**” de la seda. Los capullos de seda, se sumergen en agua hirviente, para matar la crisálida y para ablandar la “**sericina**”, la sustancia cementante que mantiene unidos a los filamentos. El delgado y doble filamento de seda - de pocas micras de “diámetro aparente” - debe devanarse del capullo y agruparse con otros filamentos, de otros capullos, para obtener un hilado más resistente. En grupos que van de 3 a 8, los filamentos se bobinan en un molinete, aspadera o devanador para formar una madeja. Para aumentar la resistencia y regularidad del futuro hilado, estos grupos de filamentos se bobinan nuevamente en grupos de dos o tres, en un carrete. Estos carretes se insertan luego en husos (*R en la Figura 1.35*) provistos de un “sombbrero” con un alambre en forma de “S” (*B, en azul en la Figura 1.35*). El conjunto de filamentos (*en rojo en la Figura 1.35*) se hace pasar por los orificios guía-hilo ubicados en los dos extremos del alambre en “S” y se enrollan en un madejero ubicado por encima de los husos (*K, Figura 1.35*). Los alambres en “S”, al girar junto con el huso, insertan algo de falsa torsión al hilado multifilamento de seda. Este alambre en forma de “S” fue seguramente un precursor de la “**aleta**”.

Ya en 1272, en Bolonia, Italia, un exiliado de Lucca “molinaba” seda en un “molino” de muy alta productividad que utilizaba el mecanismo descrito arriba. Este taller de molinado de Bolonia fue un extraordinario adelanto para la época. Esta máquina, si bien sencilla, era extraordinariamente ingeniosa para el siglo XIII y su secreto fue celosamente guardado. Se describe someramente en un documento del siglo XIV y aparece esquemáticamente representada en un grabado florentino del siglo XV (*Figura 1.34*). Más tarde, en 1607 Vittorio Zonca publica en Padua su “Nuovo Teatro de Machine et Edificii” un libro que incluía numerosos grabados de máquinas, entre los que figuraba uno que representaba a un molino, movido por agua, para el “molinado” de la seda. El libro tuvo dos ediciones más: una en 1621 y otra en 1656. De todas maneras, los detalles constructivos de la máquina no eran claros y estos eran considerados un secreto de estado celosamente guardado.

Cien años después **John Lombe**, vinculado al negocio de la seda en la región de Derby, Inglaterra, viajó a Italia y se las ingenió para copiar la máquina, en una operación que bien puede considerarse como el primer espionaje industrial. Una vez de regreso con la información obtenida - y con la ayuda financiera de su hermano Thomas - **John Lombe** pudo construir - a orillas del río Derwent y con la dirección del ingeniero George Sorocold - una gran fábrica para el “molinado” de la seda (*Figura 1.36*). El edificio era de un tamaño asombroso para la época: tenía 6 pisos, 468 ventanas, albergaba 19.000 husos y en él trabajaron cerca de 300 operarios, en su mayoría mujeres y niños. Fue construida a un costo de 30.000 libras y las nuevas máquinas fueron patentadas e instaladas en 1718. Ruedas hidráulicas transmitían movimiento a las máquinas ubicadas en todos los pisos, por medio de poleas y engranajes. Es considerada la primera fábrica textil y un antecedente temprano de la Revolución Industrial, que tomaría pleno impulso unos 50 años más tarde. Por otra parte, el éxito de la empresa estimuló el gran desarrollo que posteriormente tuvo la industria de la seda en Inglaterra. Actualmente el edificio, reconstruido, alberga al Museo Industrial de Derby.

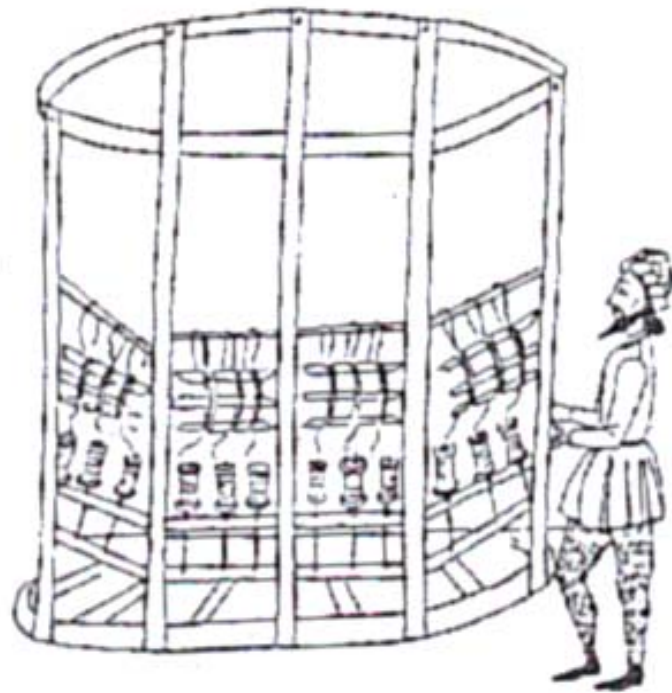


Figura 1.34 - Taller de "molinado" de seda según manuscrito florentino de 1487 (ref. 3)

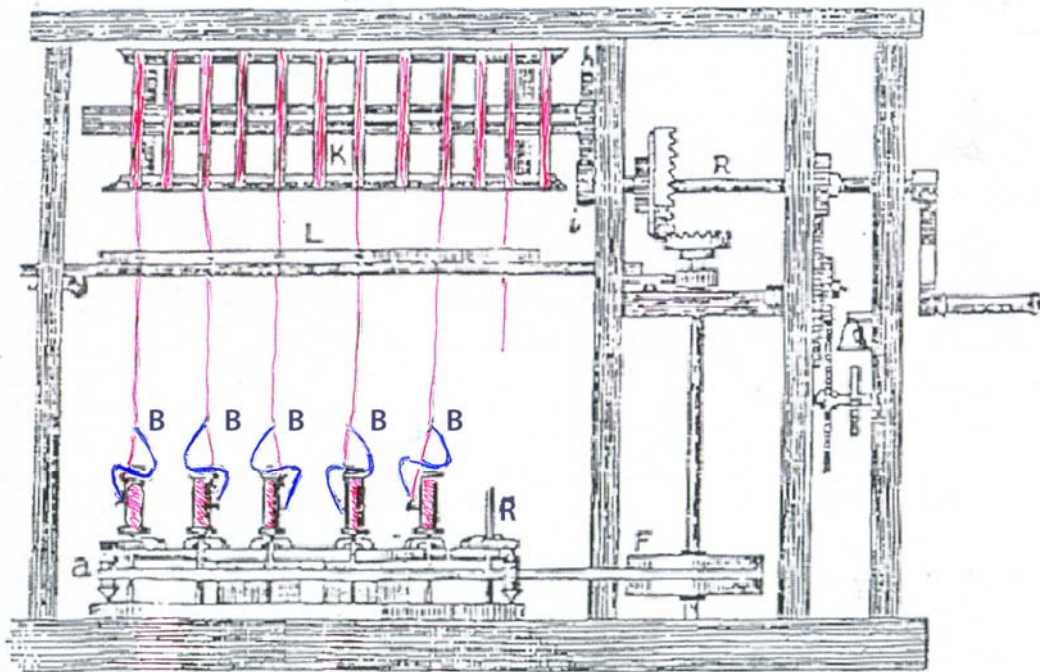


Figura 1.35
Equipo para el "molinado" de la seda de principios del siglo XVII (ref. 3)

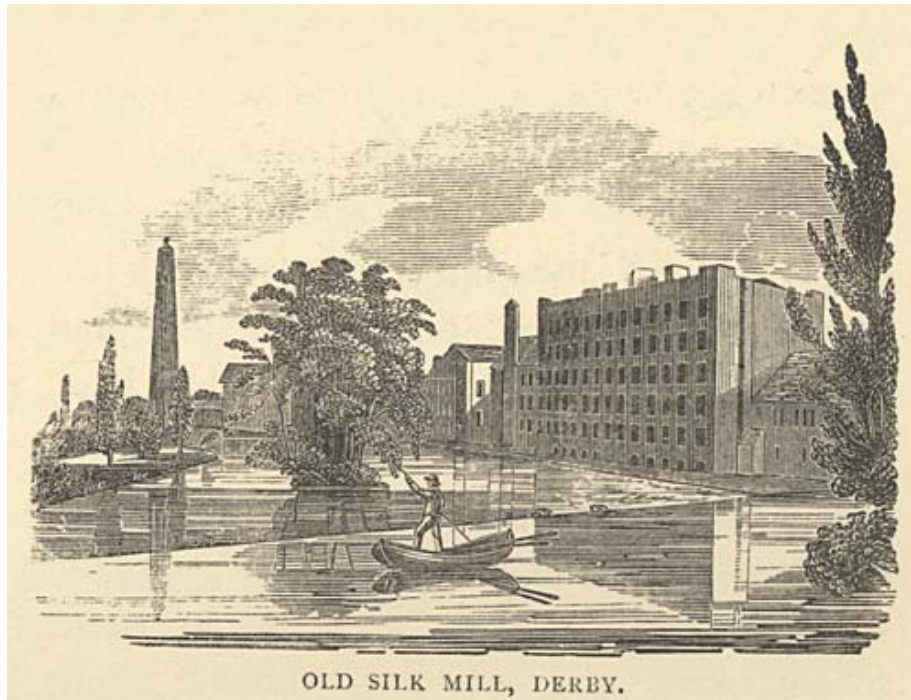


Figura 1.36

La fábrica de John y Thomas Lombe en Derby (UK), 1717
(actualmente el "Derby Industrial Museum")

4.6.0-LAS NUEVAS MÁQUINAS HILANDERAS Y LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

A principios del siglo XVIII, muchas familias campesinas europeas tenían pequeños cultivos de lino y pequeñas majadas de ovejas. Generalmente hilaban el lino y la lana de oveja para tejer luego sus propias telas, como actividad complementaria de las tareas rurales. El trabajo de hilar era realizado generalmente por las mujeres solteras (*ingl. "spinsters"*) mientras que el trabajo en el telar, mucho más duro y agotador, era realizado por los hombres. Estos trabajos se realizaban en las viviendas de los campesinos como una actividad artesanal doméstica (*ingl. "cottage industries"*)

En cambio en las ciudades prosperaba, en pequeños talleres, lo que podía llamarse "la industria del paño" que abarcaba varios oficios: tejedor, tintorero, batanador, etc., agremiados en "corporaciones" o "guildas", organizaciones sobrevivientes de la sociedad medioeval urbana. Estas actividades estaban extendidas ampliamente por Europa pero se concentraban especialmente en países ricos como Italia, Flandes e Inglaterra.

A mediados del siglo XVIII, la producción textil europea era sin embargo insuficiente para atender la demanda de una población que comenzaba a crecer aceleradamente. Habían transcurrido más de 200 años desde que **Vasco da Gama** abriera una ruta marítima a Oriente (1502). Ese período de tiempo había sido más que suficiente para establecer un importante comercio y los tejidos de algodón (y en menor medida los de seda) llegaban a Europa desde Oriente en grandes cantidades. La competencia creciente de los tejidos de algodón importados, especialmente muselinas y "calicós" (telas de algodón estampadas) procedentes de la India, perjudicaba a los productores rurales europeos, que criaban ovejas y cultivaban lino y llamaban al algodón "la fibra del diablo". En cambio los banqueros y comerciantes, que prosperaban con su comercio, le llamaban "el oro blanco". Esta competencia que sufrían los textiles europeos tradicionales - hechos de lino y de lana frente a los artículos de algodón y de seda provenientes de Oriente - hizo que casi todos los gobiernos de los países europeos impusieran gravámenes a esa importación. Inglaterra prohibió, en 1721, la importación de tejidos de algodón cediendo a las presiones de los comerciantes de lana.

Los hilanderos y tejedores europeos se propusieron entonces producir hilados y tejidos, **importando ellos mismos la materia prima**, especialmente el algodón. Sin embargo, previamente, se debían crear **nuevas tecnologías** que permitieran bajar costos y competir así exitosamente con los hilanderos y tejedores de Oriente². Esto fue uno de los impulsos motores que estimuló la aparición y el desarrollo del “**modo de producción fabril**” y de la **Revolución Industrial**. Grandes cantidades de un **combustible fósil, el carbón** (*al que en el siglo siguiente se le sumará el petróleo*) se comenzaron a utilizar para producir **vapor de agua**, cuyo poder expansivo era utilizado en las **máquinas de vapor**, recientemente inventadas (*ver 11.0.0 Apéndice*). En los nuevos talleres o “**fábricas**” estas **máquinas de vapor** comenzaron a mover **máquinas de hilar y tejer**, también recientemente inventadas. Esto permitió el ahorro de grandes cantidades de mano de obra lo que, sumado al pago de salarios extremadamente bajos, permitió que los productos europeos, y muy especialmente los ingleses, volvieran a ser competitivos frente a los de Oriente. Algunos años después, Inglaterra vendería en la India telas de algodón mucho más baratas que las producidas localmente. Es decir, en poco tiempo la modalidad del intercambio comercial se había revertido completamente.

El “**modo de producción fabril**” y la **Revolución Industrial** - por los cambios sociales, económicos y políticos que introduce - es un punto de inflexión en la historia de la Humanidad, de importancia casi equivalente al que se produce cuando se pasa del Paleolítico al Neolítico. Las innovaciones en tecnología textil, que aparecen en ese momento, desempeñaron un rol protagónico en ese crucial proceso de cambio (*refs. 13 a 16*).

A mediados del siglo XVIII para mantener abastecido a un tejedor era necesario, aproximadamente, una cantidad de hilado equivalente al trabajo de diez hilanderos. Con la mayor velocidad de producción resultante del recientemente inventado telar de **John Kay** (*ver Sección 5.4.0*) y *sus sucesivas mejoras*, esa relación se hizo aún mayor. Sin embargo esto no era un gran problema, pues había suficiente mano de obra para mantener abastecidos a los tejedores. El verdadero problema radicaba en que la hilatura era una actividad predominantemente rural y estaba sujeta a variaciones estacionales. En general, durante las cosechas el campesino no hilaba y esto creaba irregularidades en el suministro. Los tejedores estaban entonces obligados a mantener grandes “**stocks**” de hilados y los más perjudicados eran aquellos de menor poder financiero. Como la hilatura era una actividad más bien artesanal, por más experto que fuera el hiladero, el hilado que producía era en general de **calidad muy irregular**. Desde mucho tiempo atrás se venían haciendo esfuerzos por mejorar este problema y en 1734 los ingleses **Lewis Paul** y **John Wyatt** idearon un sistema de **estirado de la mecha** que utilizaba pares de rodillos de madera, accionados mecánicamente y que giraban a velocidades distintas (*ver Figuras 1.40 y 1.42*). Para el estirado o “*atenuación*” de la mecha, se hace pasar esta entre el rodillo superior e inferior de cada par. Los pares delanteros (*en el sentido de avance de la mecha*) giran a mayor velocidad que los traseros y de esa forma se produce un **estirado**. Este invento fue el primer antecedente de los modernos “*manuales*” algodoneros y de los “*gills*” laneros y el inicio del desarrollo de las **máquinas hilanderas** del siglo XVIII, que serán - junto con las **máquinas de vapor** - las grandes protagonistas de la Revolución Industrial.

Poco a poco se hacía evidente la necesidad de producir más y mejor hilado y, en 1751, la “*Society of Arts*” de Inglaterra estableció un premio de 50 libras para aquel que desarrollara una máquina capaz de “*hilar al mismo tiempo seis hilos de algodón, lino o cáñamo de tal forma que fuera necesaria solo una persona para su manejo*”. Recién en 1764, **John Hargreaves**, hiladero, tejedor

² Es quizás oportuno señalar que esto tiene vigencia actual ya que, p.ej., en nuestros días (2010) ocurre algo similar: debido a una competencia “globalizada” y especialmente de Oriente, las empresas, no solo textiles, deben introducir innovaciones tecnológicas para mejorar su competitividad en el mercado internacional.

y carpintero de Standhill, cerca de Blackburn, en Lancashire, creó una máquina hilandera de 8 husos a la que llamó "*spinning-jenny*", se dice que en honor a su esposa - o a su hija, según otras fuentes - Jenny. **Hargreaves** guardó por un tiempo el secreto de su invención, usando su máquina sólo para producir el hilado que utilizaba en su propio telar. Sin embargo, el vecindario se enteró y - al igual que lo ocurrido con el telar de **John Kay** - un día una turba de entró en su casa y destruyó la máquina, pues el invento se consideraba una amenaza para la forma tradicional de vida del gremio de hilanderos.

Hargreaves tuvo que dejar Blackburn y establecerse en Nottingham donde instaló, con algunos socios, una pequeña fábrica que funcionó con moderado éxito. El 12 de Junio de 1770 presentó una patente para una máquina de 16 husos que fue rechazada con el argumento de que ya había hecho y vendido varias de esas máquinas. La "*spinning-jenny*" (ver Figura 1.39) si bien era capaz de producir varios hilos a la vez, hilaba en forma "*discontinua*", como los husos manuales y producía hilado muy grueso que solo podía ser utilizado en urdimbre y no en trama. **Hargreaves** falleció en 1778 sin haber podido nunca recibir justos beneficios por su invención.

Mientras tanto, en 1768, **Richard Arkwright**, un peluquero de Lancashire que tenía como clientes a muchos hilanderos y estaba familiarizado con los problemas de estos, había construido una máquina que combinaba los rodillos estiradores, inventados por **Paul y Wyatt**, con los husos con **aletas** característicos de la rueca. Esto permitió, por primera vez, realizar de manera **continua** y con **varias mechas a la vez**, las operaciones de **estirado**, **inserción de torsión** y **bobinado**. La máquina hilandera de **Richard Arkwright** fue así la primera máquina de hilar continua y es un antepasado directo de las "*mecheras*" utilizadas hoy en las hilanderías de algodón.

La primera máquina de **Arkwright** (ver Figura 1.40) era capaz de producir la misma cantidad de hilado, con mayor regularidad y resistencia, que 600 mujeres trabajando con ruecas. La máquina, por medio de una transmisión con engranajes, era movida por un caballo que daba vuelta en una noria. Luego, el caballo fue sustituido por una rueda hidráulica, por lo que la máquina se conoció como "*Water Frame Spinning Machine*". Las hilanderías debían entonces, ubicarse en la orilla de un río o arroyo y se conocían como "*textile mills*" o "*molinos textiles*", por similitud con los molinos de granos, que tradicionalmente utilizaban energía hidráulica para la molienda. Cuando poco después se comienza a utilizar **vapor** como fuerza motriz, las hilanderías pueden ya instalarse en las ciudades, sin necesidad de estar al lado de una corriente de agua. Sin embargo, la tradición de llamar, en idioma inglés, a una fábrica textil "*a textile mill*", continua hasta el día de hoy. **Arkwright** construyó su primera fábrica textil en Cromford, Inglaterra, en 1774, con un gran éxito inicial. Sin embargo, perdió sus derechos de patente y eso permitió luego la aparición de una gran cantidad de hilanderías basadas en su invención. Por ejemplo, **Samuel Slater**, que había sido aprendiz en una de las hilanderías de **Arkwright**, logró eludir la prohibición de emigrar - vigente en Inglaterra en esos años para los trabajadores textiles - e instalar en **1790**, a orillas del río Blackstone, en Pawtucket, Rhode Island, USA, la primera hilandería de algodón americana utilizando "*water frames*". De esta manera, **Samuel Slater** es considerado hoy el padre de la industria textil americana pues fundó varias hilanderías más en Nueva Inglaterra así como la ciudad de Slatersville, en Rhode Island.

Otro ingenioso inventor inglés, **Samuel Crompton**, un violinista del teatro Bolton, combinó en 1779 los trenes de rodillos estiradores del "*Water Frame*" de **Richard Arkwright** con los husos de la "*Spinning-Jenny*" de **Richard Hargreaves** con la importante modificación de colocar a estos en un carro móvil (en la máquina original de Hargreaves están colocados en un soporte fijo). Por tratarse de un "híbrido", mezcla de dos máquinas, se le conoció como "*the Crompton mule*". La gran ventaja de esta máquina es que permite insertar torsión a las mechas **al mismo tiempo que son estiradas**. De esta manera, los tramos gruesos de las mechas reciben menos torsión que las tramos

finos y se pueden estirar más. Gracias a este auto-ajuste la **regularidad** del hilado es notablemente superior. Luego de muchos esfuerzos, en 1825, **J.Kennedy** y **R.Roberts** mejoran el diseño de **Samuel Crompton** y utilizan vapor como fuerza motriz. La máquina pasará a conocerse entonces como *“self-acting machine”* o *“selfactina”*. Esta máquina de hilatura *“discontinua”* o *“intermitente”* se sigue utilizando aún hoy en algunas hilanderías de lana de sistema cardado (ver Figura 1.41).

En 1828 se produce otro gran avance con el invento americano de la **“continua de hilar de anillo”** (*“ring spinning machine”*). En estas máquinas la aleta es sustituida por una pieza pequeña y liviana, el **“viajero”** o **“cursor”** que gira en un **“anillo”** concéntrico con el **huso**. El **“viajero”** o **“cursor”** es arrastrado por el hilado que se va produciendo de manera continua y obligado a girar en el anillo. Este giro inserta torsión al hilado que se va bobinando en forma continua en el carrete colocado en el huso (ver figura 1.42). La hilatura debe interrumpirse periódicamente para cambiar las bobinas llenas de hilado por otras vacías, pues el diámetro de la bobina llena no puede igualar ni superar al diámetro del anillo. A pesar de esto, como las operaciones de estirado, inserción de torsión y bobinado la máquina las hace en forma continua, pasó a ser conocida simplemente como **“continua de hilar”**. Con esta gran innovación las hilanderías, produciendo más y utilizando cada vez menos mano de obra, entran en la época moderna.

4.6.0- MÉTODOS DE HILATURA “NO TRADICIONALES”

Como acabamos de señalar, la **“continua de hilar de anillo”** fue llamada así justamente porque realiza en forma **“continua”** tres de las operaciones básicas de la hilatura: **1)** estirado de la mecha, **2)** inserción de torsión y **3)** bobinado del hilado. Sin embargo, el **diámetro del “anillo” establece un límite a la cantidad de hilado que se puede bobinar** y es necesario parar la máquina para retirar periódicamente, los **“portabobinas”** o **“canillas”** llenas, remplazándolas por las vacías. Esto implica en definitiva una **“discontinuidad”** en la producción. Este inconveniente se ha superado con los métodos de hilatura **“a cabo suelto”** o **“a cabo abierto”** (*“open end”*).

Los métodos de hilatura **“a cabo suelto”** consisten, básicamente, en separar las fibras de la mecha (que generalmente ya fueron separadas y vueltas a reunir en la operación de cardado) para hacerlas caer sueltas y en forma continua en la garganta de un rotor que gira y que formará el hilado³. La expresión **“a cabo suelto”**, proviene de que el hilado se forma a partir de fibras sueltas, que al irse compactando van recibiendo torsión desde el núcleo hacia afuera (ver Figuras 1.45 y 1.46). En el caso de la hilatura tradicional **“de anillo”**, la torsión se insertaba de afuera hacia adentro, es decir hacia el núcleo de la mecha.

El primer método de hilatura **“a cabo suelto”** fue patentado ya en 1807, pero recién en 1965, en la Feria Internacional de Maquinaria Textil de Brno, Checoslovaquia, se presenta la primera hiladora de rotor **“KS 200”** con sistema de estiraje y un régimen de revoluciones del rotor de 20.000 a 23.000 rpm. Con esta máquina, la velocidad de entrega del hilado llega a valores cercanos a los 100 metros/minutos y se obtienen bobinas de gran tamaño⁴. Con este sistema, la hilatura pasa entonces a ser verdaderamente **“continua”** y se alcanzan valores de producción muy superiores a los que se obtenían previamente (ver Figura 1.47). Además del sistema de **“cabo abierto de rotor”** aparecen luego otros sistemas a cabo abierto innovadores como el de fricción **“DREFT”**, el de jet de aire **“VORTEX”**, etc.

En los últimos años, los desarrollos tecnológicos de la hilatura han sido muy importantes. Además de los nuevos diseños de máquinas, la incorporación de la informática, la robótica y las nuevas modalidades de gestión han permitido aumentar la productividad y la calidad a niveles muy altos (ref.

³ En el caso de la hilatura **“a cabo suelto”** de rotor.

⁴ Los valores característicos para las **“continuas de anillo”** son del orden de solo 10 metros /minuto

15). Este avance continúa, como se puede apreciar en las publicaciones especializadas y en las ferias internacionales de maquinaria e insumos para la industria textil.



Figura 1.37 - Hilados en madeja



Figura 1.38 - Hilados en bobinas

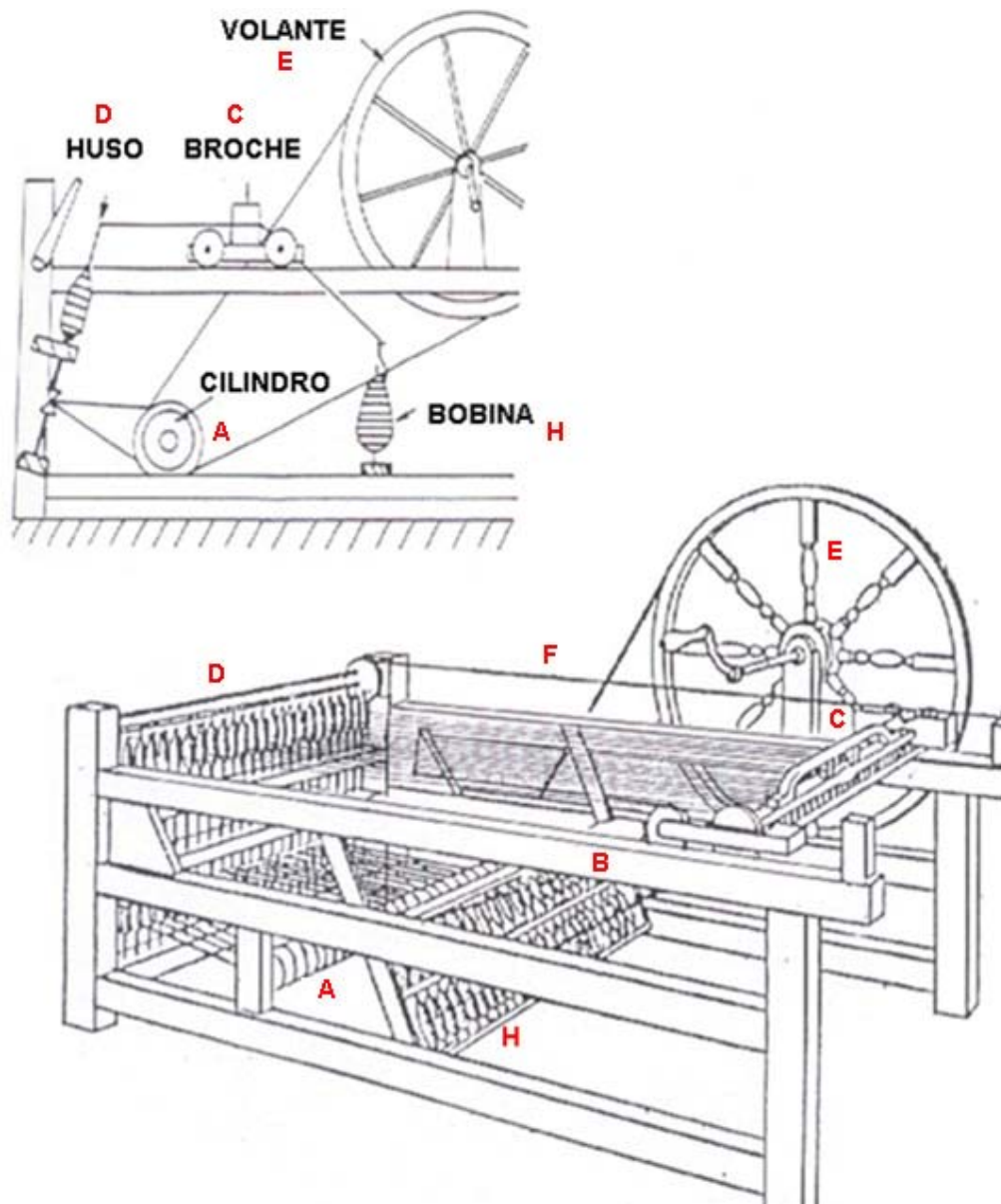


Figura 1.39

LA "SPINNING-JENNY" de James Hargreaves (ref.4)

Esta máquina poseía un carro **C** que se desplazaba sobre ruedas en un marco **B**. El carro al ir hacia **D** tira mecha de las bobinas ubicadas en el soporte inclinado **H**. Se afloja el broche del carro **C** y se le regresa a su posición original dejando las mechas en su lugar. Al apretar nuevamente las mechas con el sujetador de **C**, se gira manualmente el volante **E** el que a través de una polea, transmite movimiento al cilindro **A**. El cilindro **A** al girar transmite a su vez movimiento de giro a las "nueces" de los husos que están por debajo de **D**. El giro de los husos inserta torsión a las mechas. Una vez finalizada la inserción de torsión, se tira de la cuerda **F**, cae el alambre **D** y los mechas salen de las muescas donde estaban enganchadas mientras recibían torsión. Regresando el carro **C** (en dirección a **D**) al mismo tiempo que se gira el volante **E**, los husos ahora, al girar, bobinarán los tramos de hilado recién formado - tramos de mechas que acaban de recibir torsión - a la vez que se tira de nuevos tramos de mecha de las bobinas **H** (que aún no han recibido torsión). Se afloja el sujetador del carro **C**, se regresa este a su posición, se coloca nuevamente el sujetador y se inicia un nuevo ciclo. La "spinning-jenny" continuaba hilando en forma "discontinua" como el huso manual, pero producía varios hilos a la vez.

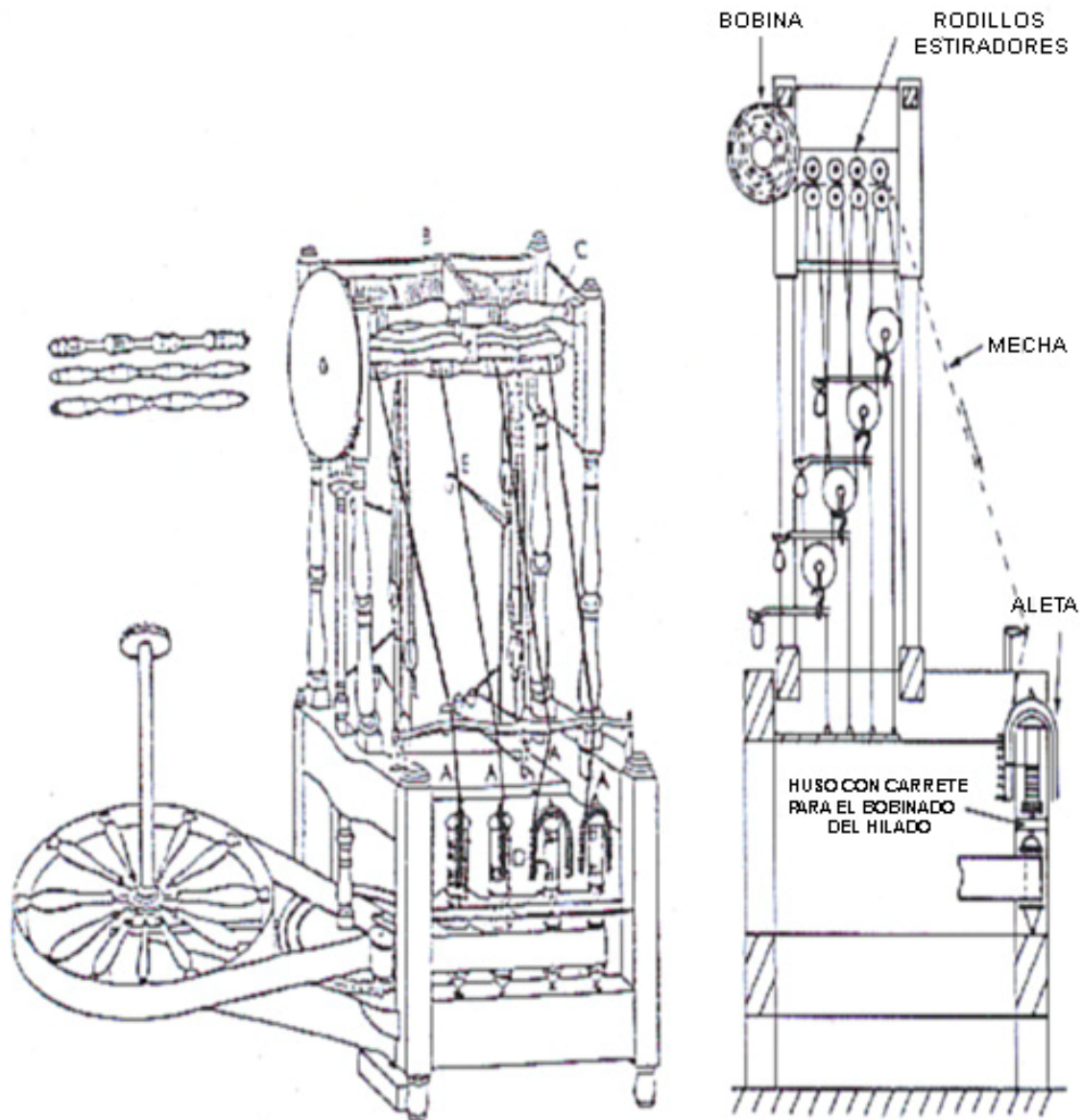


Figura 1.40

El "WATER-FRAME" de Richard Arkwright (1769) (ref.4)

El "Water-Frame"- máquina así llamada porque inicialmente para moverla se utilizó la energía de molinos hidráulicos (si bien luego también la de caballos girando en una noria), constituyó un adelanto notable. Los husos giraban gracias al movimiento transmitido por poleas. De esa forma, el hilado avanza bobinándose en la "canilla" (insertada en el huso), a la vez que tira de la "aleta". Esta al girar inserta torsión a la mecha que avanza. La mecha es atenuada previamente por el pasaje a través de cuatro pares de rodillos de estirado C (ya inventados en 1738 por Lewis Paul y John Wyatt). Por primera vez se lograba **estirar, insertar torsión y bobinar** en forma **continua**. Esta máquina permitía obtener hilados de algodón puro, más fuertes, con más resistencia a la tracción, sin necesidad de mezclar el algodón con lino como se hacía hasta ese entonces (a esta mezcla de algodón con lino se le llamaba "fustán"). Hay quienes afirman que Richard Arkwright, más que un inventor, fue un "combinador" de elementos ya inventados previamente y que plagió a otro inventor llamado Thomas Highs, sin capacidad para los negocios. De todas formas Richard Arkwright fue un gran emprendedor que instaló varias fábricas, utilizando rápidamente la máquina de vapor de James Watt, también recientemente inventada (ver 11.0.0 Apéndice), para mover sus máquinas de hilar. El gran mérito de Arkwright fue, quizás entonces, el de inaugurar el "sistema fabril de producción"

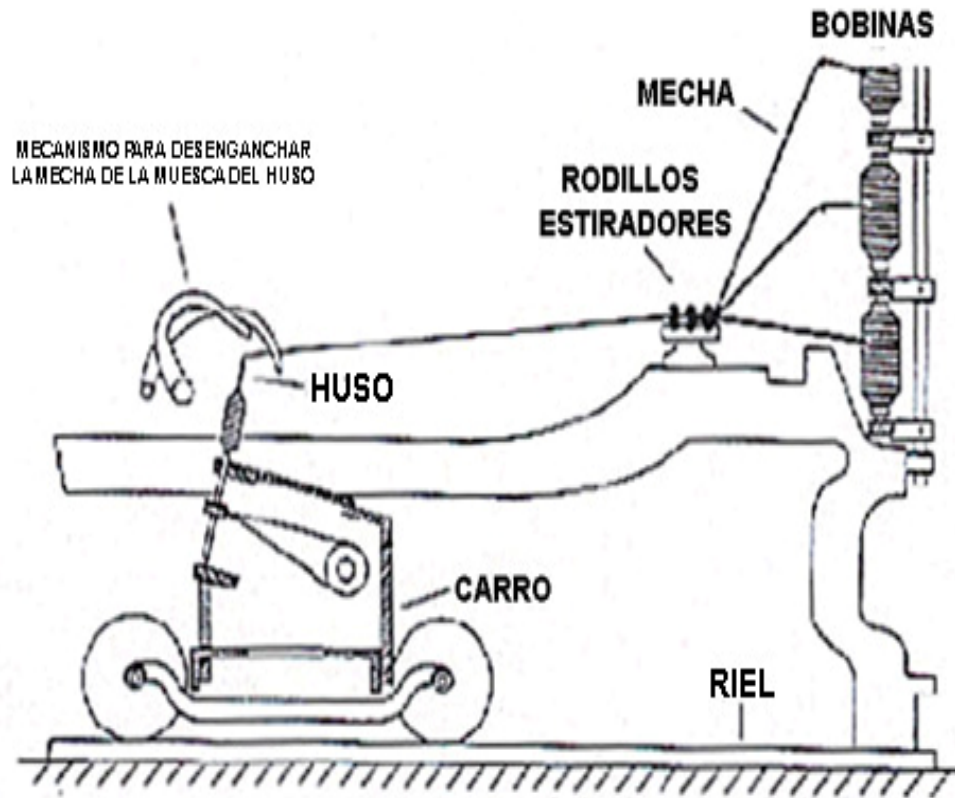


Figura 1.41
"SEFACTINA" (refs. 4).

Esta máquina es una "descendiente" directa de la "Crompton Mule" de Samuel Crompton perfeccionada en 1825 por J.Kennedy y R.Roberts. Las mechas se alimentan al tiempo que el carro se retira. El carro avanza un poco más rápido que la entrega de mecha lo que estira algo las mechas. Los husos, ubicados en el carro con un ángulo de 16° , van girando e insertando torsión al mismo tiempo que se estiran las mechas. Al llegar a los $5/6$ del recorrido se detiene la entrega de mecha y el carro continúa avanzando, estirando mucho más lentamente mientras se sigue insertando torsión. Al final del recorrido los husos giran un poco en sentido contrario, para desenganchar el hilo, y comienza el retorno del carro mientras que los husos bobinan el hilo. El hilado obtenido es de muy buena regularidad.

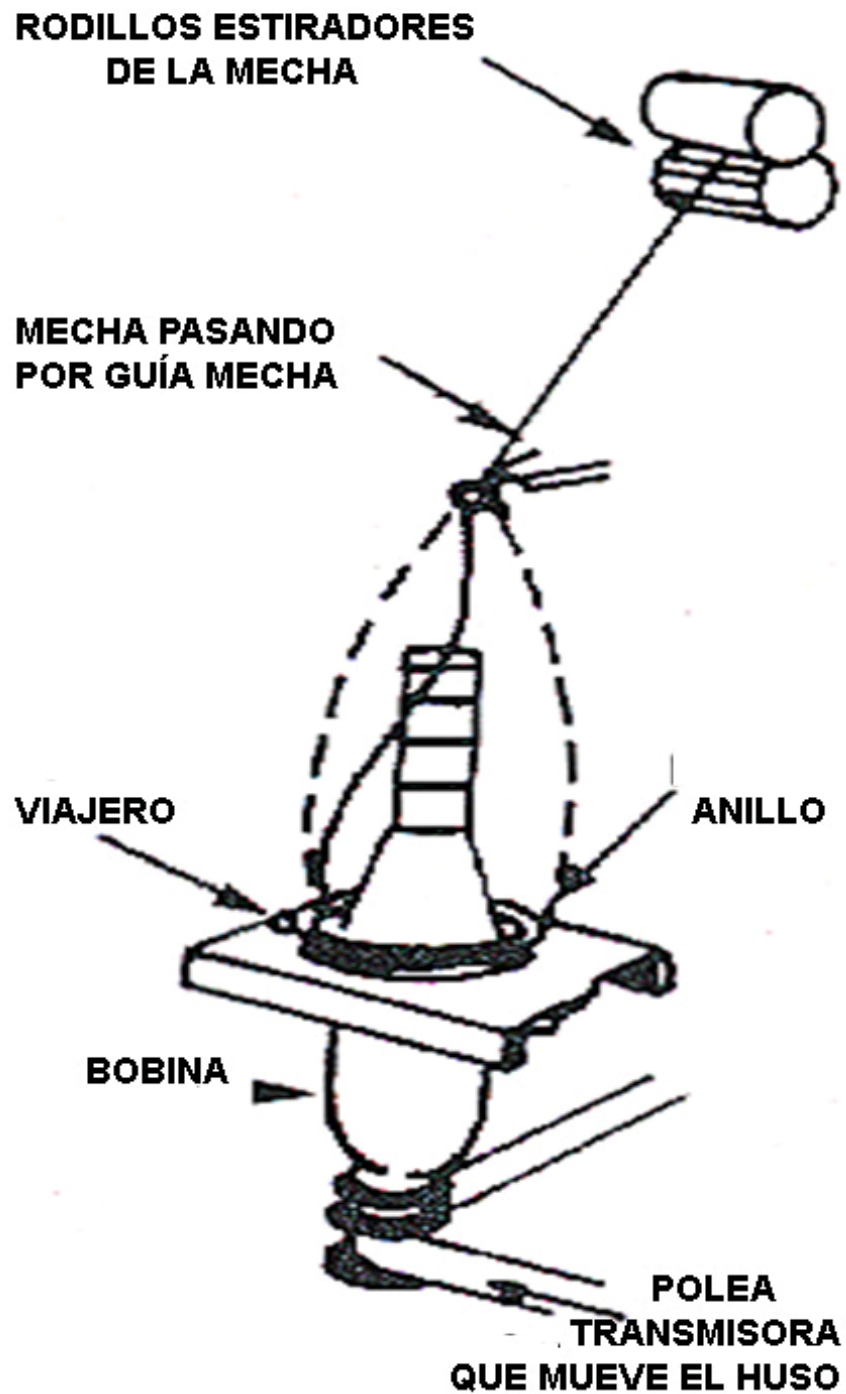
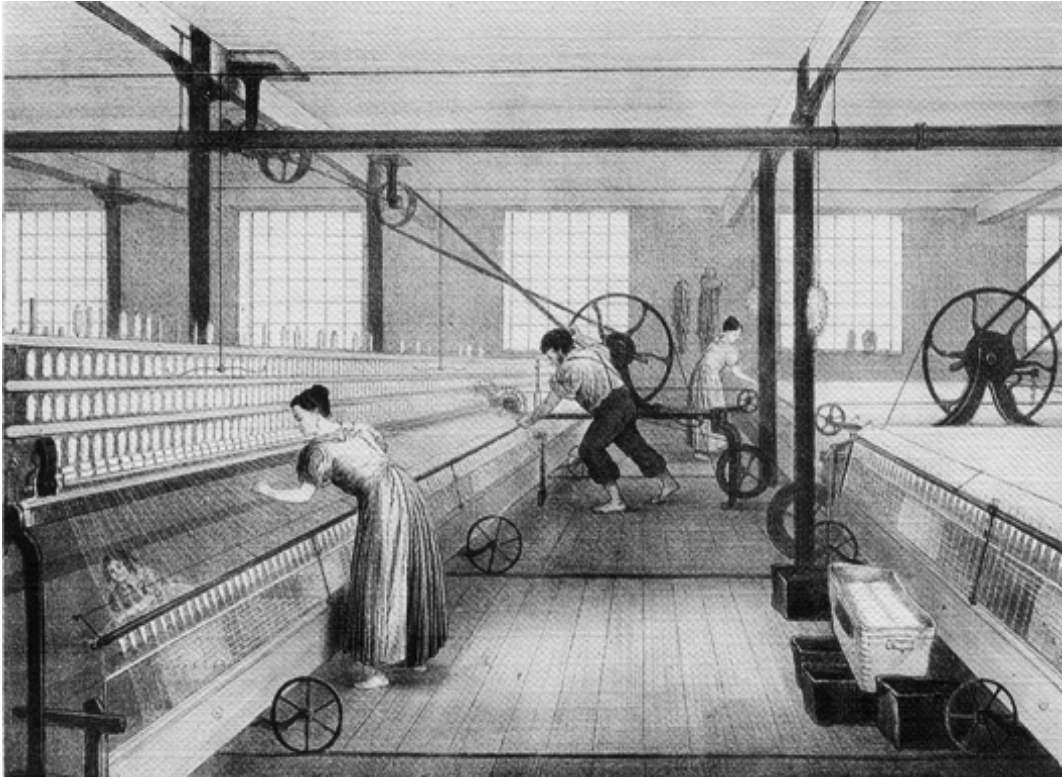


Figura 1.42
HILATURA DE ANILLO (1828)

La mecha es suministrada en forma continua desde los rodillos estiradores y pasa a través del "viajero". El "viajero", que tiene forma de "C", gira en el "anillo" tirado por la mecha. La mecha sigue hacia la bobina que está insertada en el "huso". El huso, al girar continuamente, hace girar al "viajero". El giro del "viajero" va insertando torsión a la mecha: en un sentido hacia la garganta de los rodillos estiradores y en sentido contrario hacia el punto de bobinado.



*Figura 1.43 – Hilando con Selfactina a mediados del siglo XIX
La imagen muestra un niño anudando hilos por debajo del carro de la selfactina,
confirmando la utilización del trabajo infantil en esa época.*



*Figura 1.44
Foto tomada alrededor de 1910 en una hilandería inglesa, en la que aún se empleaba trabajo infantil*

TABLA 1.3
CARACTERÍSTICAS DEL "SISTEMA DE PRODUCCIÓN FABRIL" QUE APARECE EN EUROPA A FINES DEL SIGLO XVIII (*)

<i>1- USO DE MÁQUINAS</i>
<i>2 -PRODUCCIÓN EN MASA.</i>
<i>3- MAYOR PRODUCTIVIDAD (mayor velocidad y economía en la producción).</i>
<i>4- CONCENTRACIÓN DE LAS FUERZAS DE TRABAJO BAJO UN MISMO TECHO.</i>
<i>5- UTILIZACIÓN DE ENERGÍA DISTRIBUIDA DESDE UNA O MÁS FUENTES CENTRALES.</i>
<i>6- DIVISIÓN ORGANIZADA DEL TRABAJO.</i>
<i>7- SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE TODO LOS PROCESOS PRODUCTIVOS.</i>
<i>8- UTILIZACIÓN DE CAPITAL ACUMULADO.</i>

(*) En la Inglaterra de fines del siglo XVIII, la actividad textil es la primera en adoptar el "Sistema de Producción Fabril". Este sistema adquiere tal importancia y extensión que da lugar al inicio de una nueva etapa para la Humanidad. A este período histórico se le conoce con el nombre de "Revolución Industrial".

TABLA 1.4
LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

1- SISTEMA DE PRODUCCIÓN PRE-INDUSTRIAL (hasta 1750, aproximadamente)	
PRODUCCIÓN RURAL:	Artesanal y familiar en máquinas chicas (ruedas y telares). Las familias campesinas hilan y tejen lino y lana .
PRODUCCIÓN URBANA:	Talleres de tejido, batanado, teñido, etc., organizados en corporaciones.
2- SISTEMA DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL (de 1750, aproximadamente, en adelante)	
PRODUCCIÓN RURAL:	Aparecen pequeñas unidades productoras. Se ubican a la orilla de ríos y arroyos para utilizar la energía hidráulica de éstos.
PRODUCCIÓN URBANA:	A partir aproximadamente de 1800, aumenta el número de empresas que utilizan las primeras máquinas de vapor y el "Sistema de Producción Fabril" se consolida con carácter netamente urbano. El algodón , importado de Oriente primero y luego también de América, se convierte en la fibra predominante.

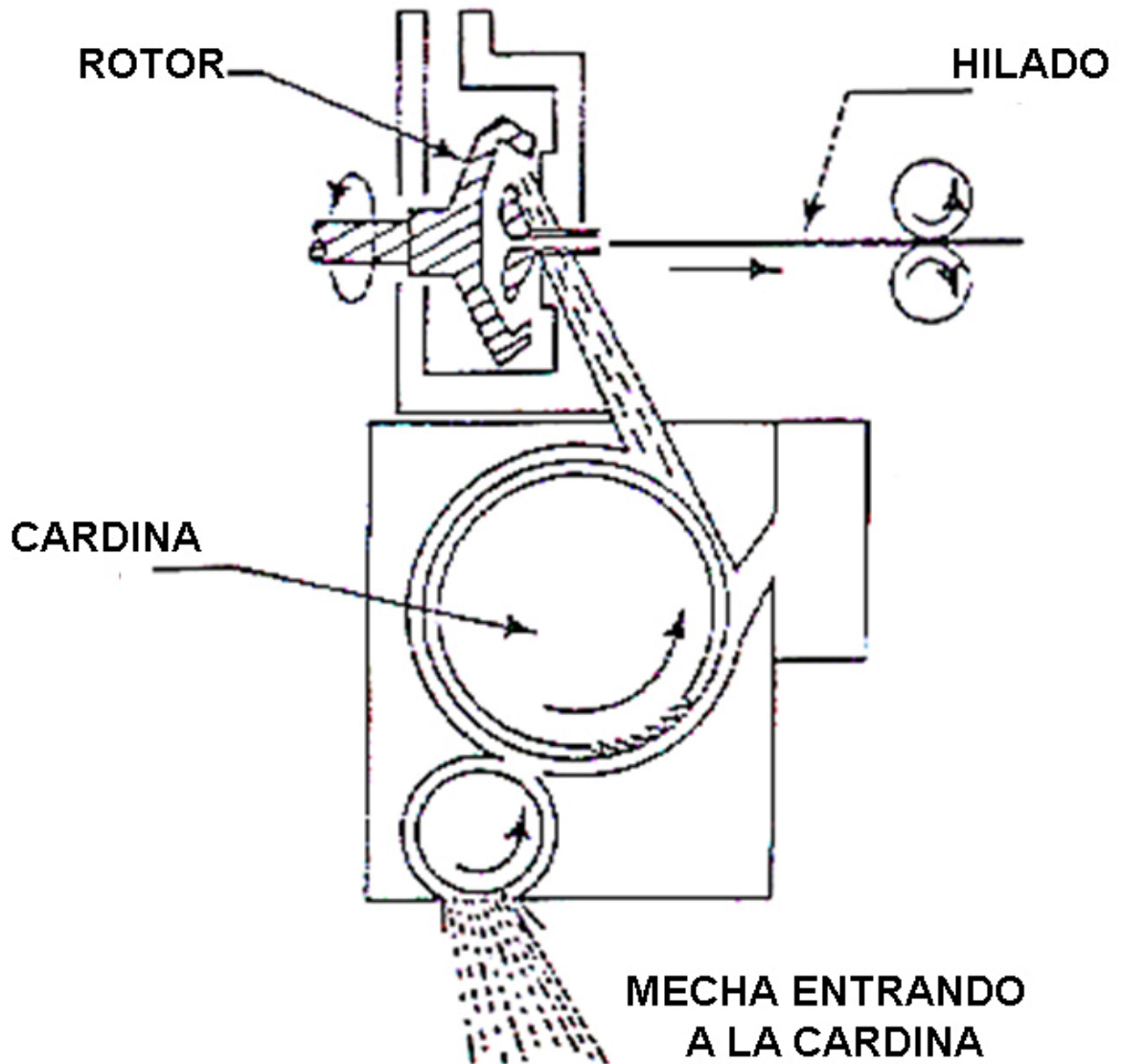


Figura 1.45
HILATURA "OPEN END" (1967).

La mecha (*"sliver"*), proveniente de los "manuales" de estirado, es tomada por la "cardina" (*"combing wheel"*) donde las fibras son separadas individualmente. Las fibras separadas van cayendo en la "garganta" del rotor, donde reciben torsión desde adentro hacia afuera, es decir desde el "núcleo" hacia la "vaina" de la mecha. El hilado sale finalmente del rotor en forma axial.

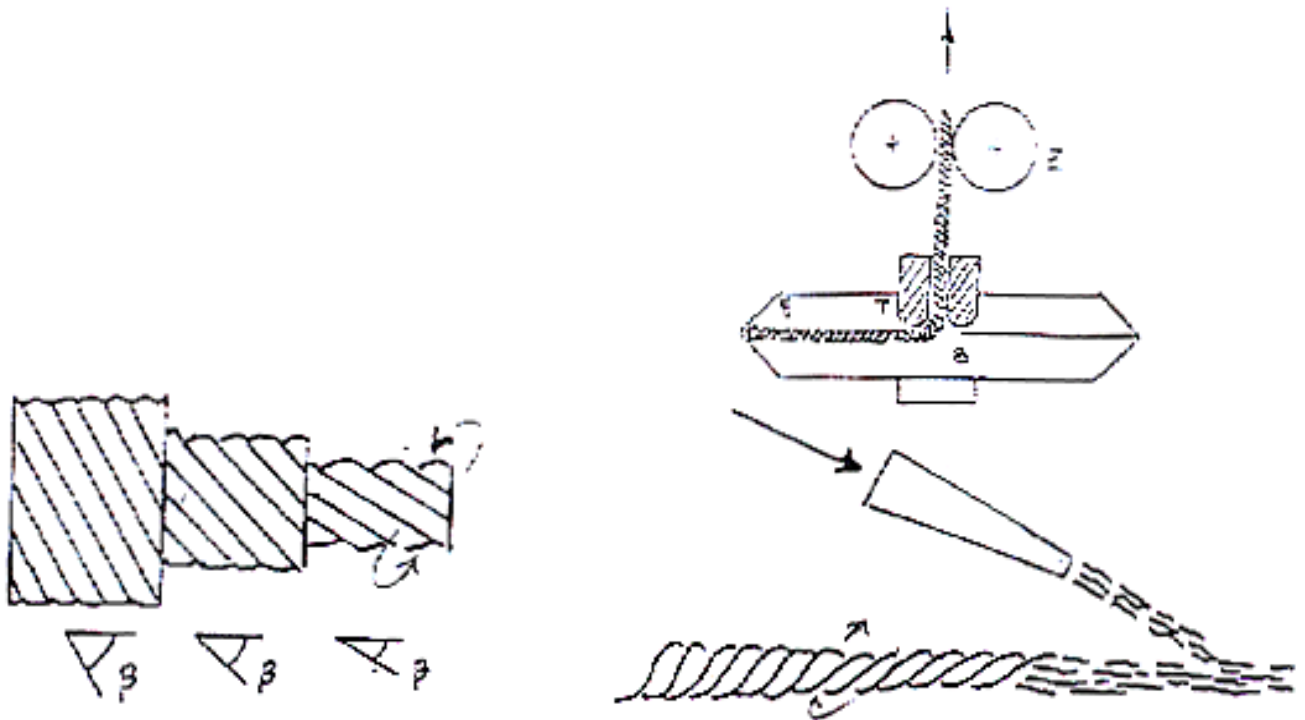


Figura 1.46

DIFERENCIAS ENTRE LA HILATURA DE ANILLO Y LA "DE CABO ABIERTO"

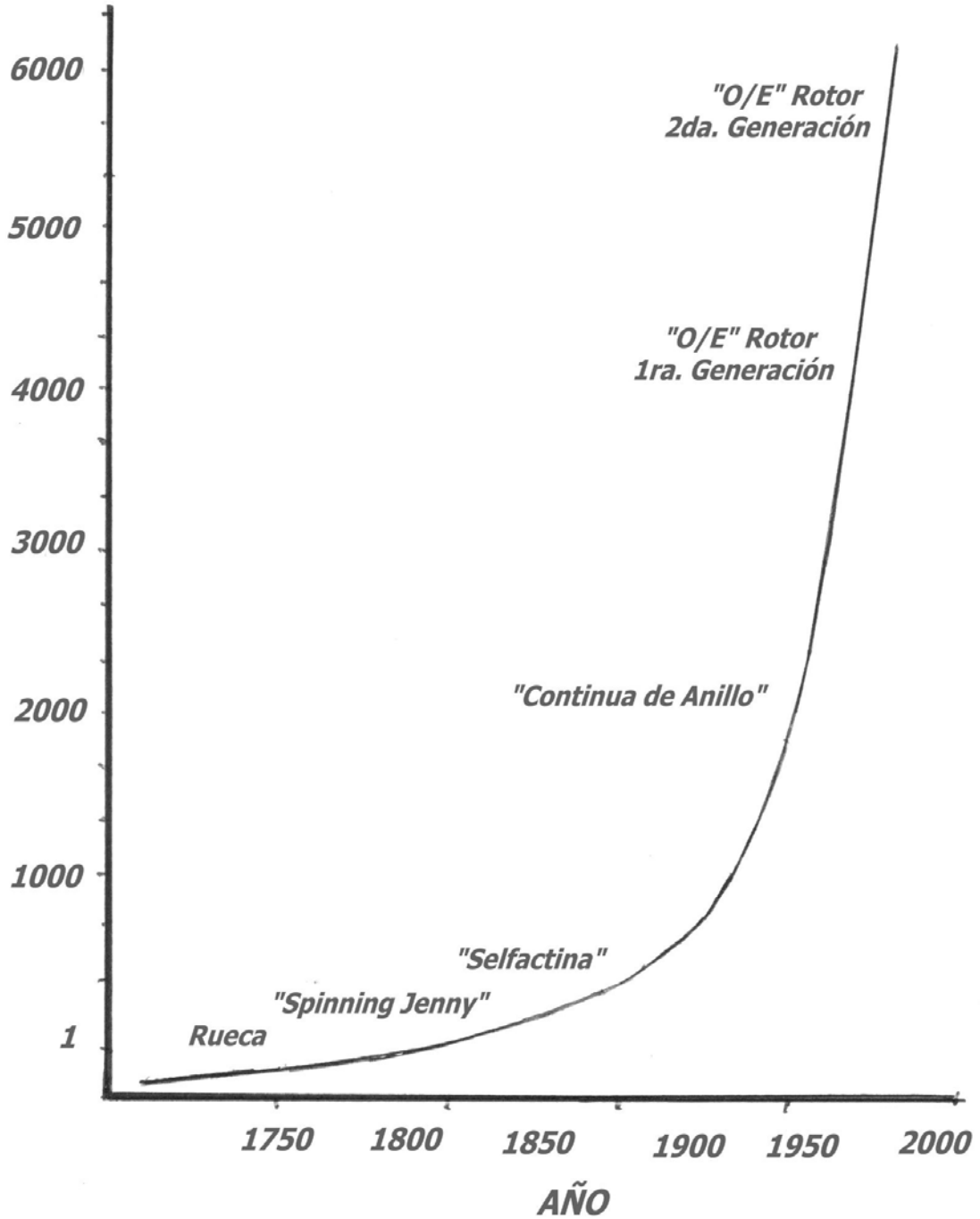
HILADO DE CONTINUA DE ANILLO

- * La torsión se inserta de afuera hacia adentro
- * La torsión es mayor en la "vainas" que en el "núcleo"
- * El hilado tiene menor resistencia a la **abrasión**: si se rompen las fibras de la "vainas" el hilado pierde resistencia a la tracción
- * El hilad/S recibe mayoritariamente torsión "verdadera".

HILADO "OPEN-END"

- * La torsión se inserta de adentro hacia fuera
- * La "vainas" tiene menos torsión que el "núcleo"
- * El hilado tiene mayor resistencia a la abrasión pues las fibras del "núcleo" son las que tienen más torsión y resisten más.
- * El hilado O/E presenta una mezcla de torsión "verdadera" y "falsa": las primeras fibras al entrar al rotor reciben "falsa" torsión (*formarán el "núcleo" del hilado*). Las fibras mas largas, un poco antes de salir el hilado, reciben torsión "verdadera" y, formarán la vaina del hilado actuando como envolventes.

**PRODUCTIVIDAD
RELATIVA**



EVOLUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA HILATURA

5.0.0- LA ELABORACIÓN DE TELAS A PARTIR DE HILADOS

5.1.0- LOS TELARES PRIMITIVOS

Los primeros telares de los que se valió el hombre del neolítico para elaborar sus telas fueron, muy probablemente, los “telares de cintura” (5000 a.C.). En esos telares se atan los extremos de los hilos de urdimbre a un árbol y los otros extremos a la cintura del tejedor, quien luego va insertando la trama. Otros telares primitivos son los “telares en arco” o “en U” en el que los hilos de urdimbre se tensan entre los brazos de la U.

Los **telares verticales**, con la urdimbre colgada y estirada con contrapesos fueron un gran avance: la urdimbre se enrollaba abajo y la tela, a medida que se tejía, arriba. También los **telares horizontales** - elevados a cierta altura del piso de tal forma que el tejedor pudiera trabajar sentado y manejar la apertura de la calada, elevando y bajando los “lizados” por medio de **pedales**, fueron un gran adelanto. Ambos tipos de telares empiezan a difundirse, aproximadamente, hacia fines de la Antigüedad y comienzos de la Edad Media. Todos ellos permiten tejer solo cantidades relativamente pequeñas de tela y, aún hoy, son utilizados por tejedores artesanales (ver Figuras 1.48 a 1.51).

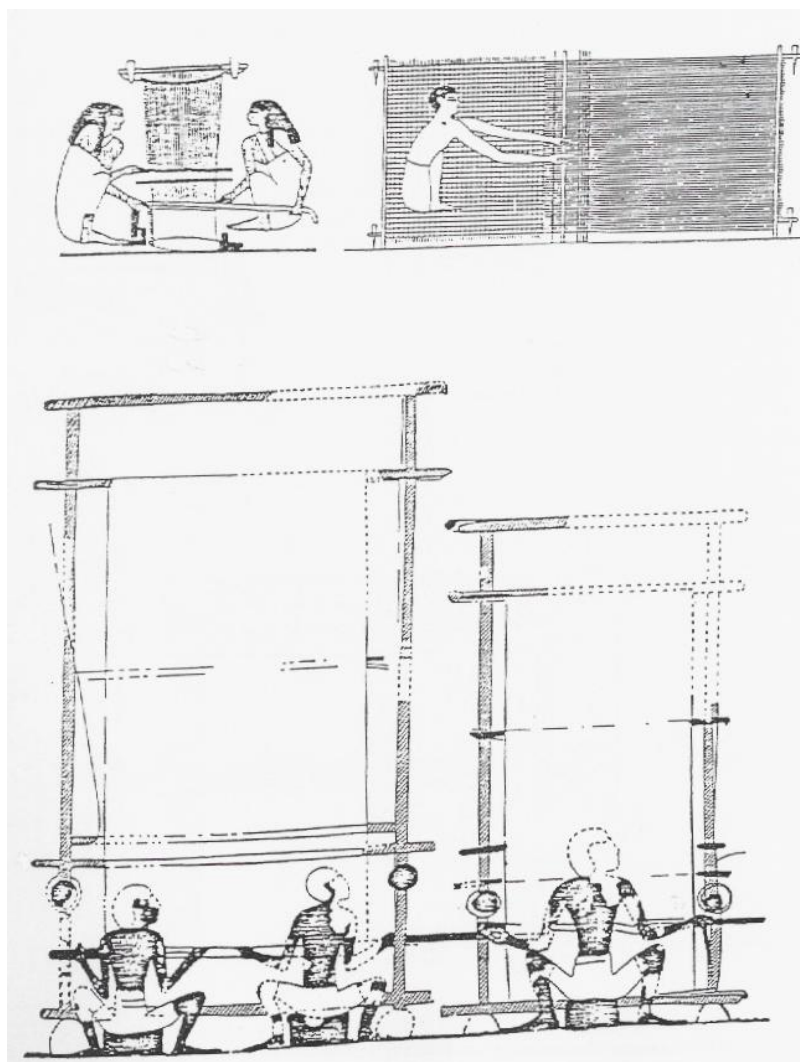


Figura 1.48
Telares egipcios, horizontales y verticales. 1500-1900 a.C. (ref. 3)

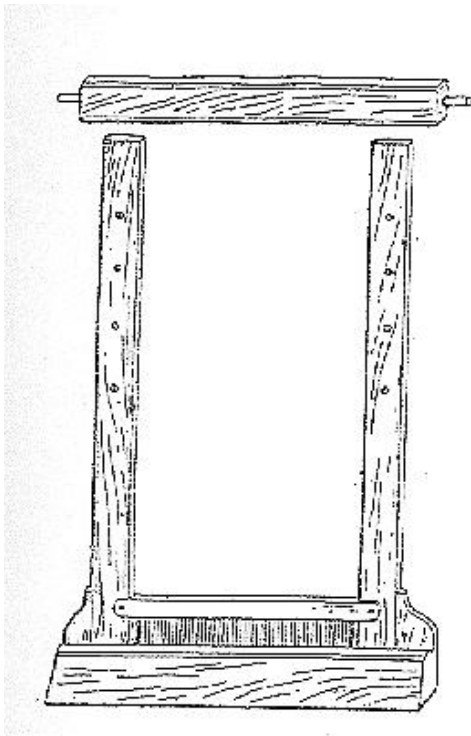


Figura 1.49
Batán y peine. Telar horizontal

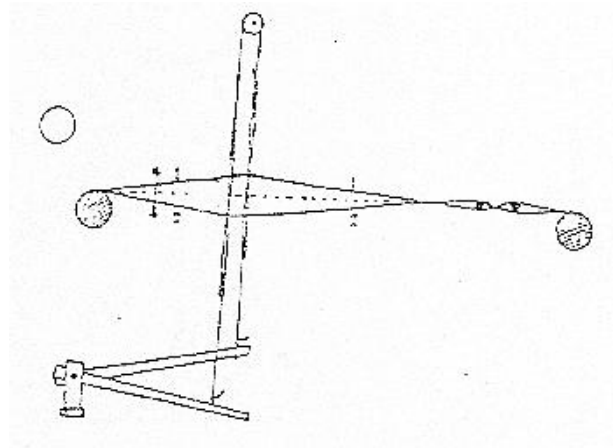


Figura 1.50
Esquema de la apertura de la "calada"

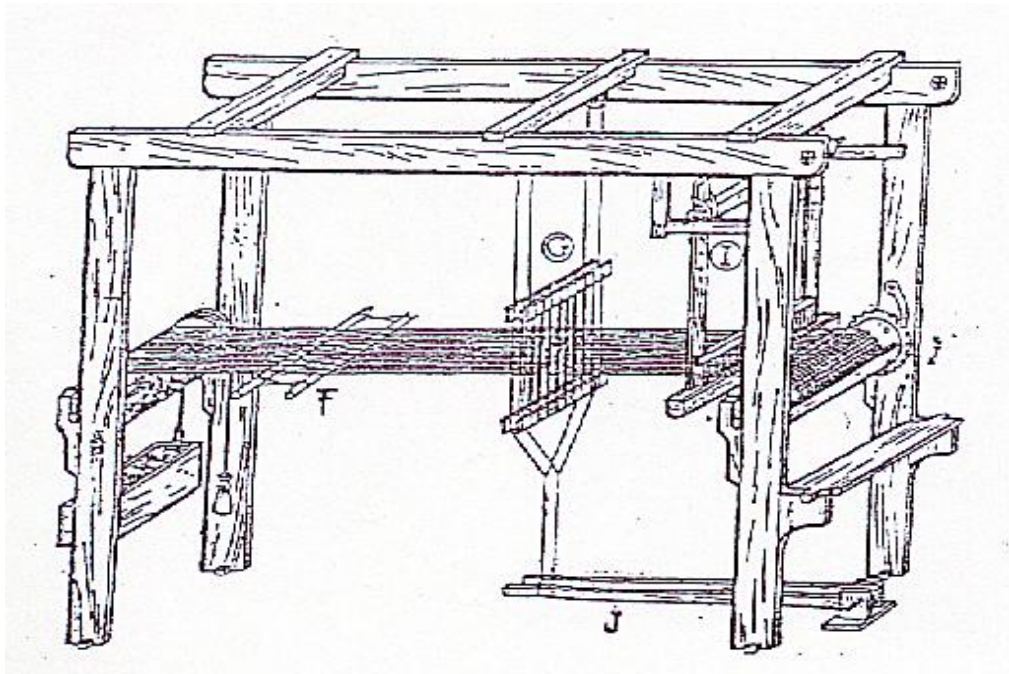


Figura 1.51
Telar manual o "artesanal", horizontal, utilizado ya hacia fines de la Antigüedad y comienzos de la Edad Media. Sus elementos básicos: (F) "cruz" para mantener separados los hilos de urdimbre, (G) dos "cuadros" o "lizados", (I) "batán" y "peine", (J) pedales para elevar y bajar alternativamente los "cuadros" o "lizados" y abrir la calada. A la izquierda el rollo de urdimbre, a la derecha la cabecera del telar con el asiento para el tejedor (ref. 3).

5.2.0- LOS TELARES DE TIRANTES

Como ya lo señaláramos los tejidos planos de seda, con hermosos y complicados diseños, se producían desde antiguo en Oriente y ya en la Edad Media eran ya extremadamente apreciados en Europa. Pronto se trató de imitarlos, especialmente en aquellas regiones donde existían poderosos centros sederos, como el norte de Italia y en la región de Lyon, en Francia.

Para tejer una tela plana con diseños complicados es necesario emplear muchos "lizados" o "cuadros". Pero no es posible, usando solo pedales, abrir la *calada* levantando el peso de una gran cantidad de "lizados". Entonces se utilizaba un sistema de poleas manejado por un ayudante del tejedor. Este ayudante (*"draw boy"*) se ubicaba al costado del telar y tiraba de cordeles con contrapesos, que levantaban los "lizados" o "cuadros" ordenadamente, según instrucciones escritas del tejedor (ver *Figura 1.52 y 1.53*). Estos telares se conocieron entonces como **telares de tirantes** (*"drawn looms"*).

Para evitar errores humanos, se trató de "automatizar" de alguna manera a esos telares *de tirantes*. Con esa finalidad **Basile Bouchón** - hijo de un fabricante de órganos y el mismo vinculado a la industria textil sedera de Lion - desarrolló en 1725 un ingenioso mecanismo (ver *Figura 1.54*) que luego fue perfeccionado por **Jean Baptiste Falcon** en 1728 y por **Jacques Vaucanson** en 1745. Estos desarrollos fueron los antecedentes del telar que, en 1801, inventaría **Jean Marie Jacquard**. El telar creado por Jacquard permite controlar cada uno de los hilos de urdimbre y de esa manera elaborar todo tipo de complejos diseños, como figuras humanas, flores, animales, etc. Ejemplos de telas hechas en telares Jacquard son los "brocados" y "damascos" (ver *Sección 5.6.0*).

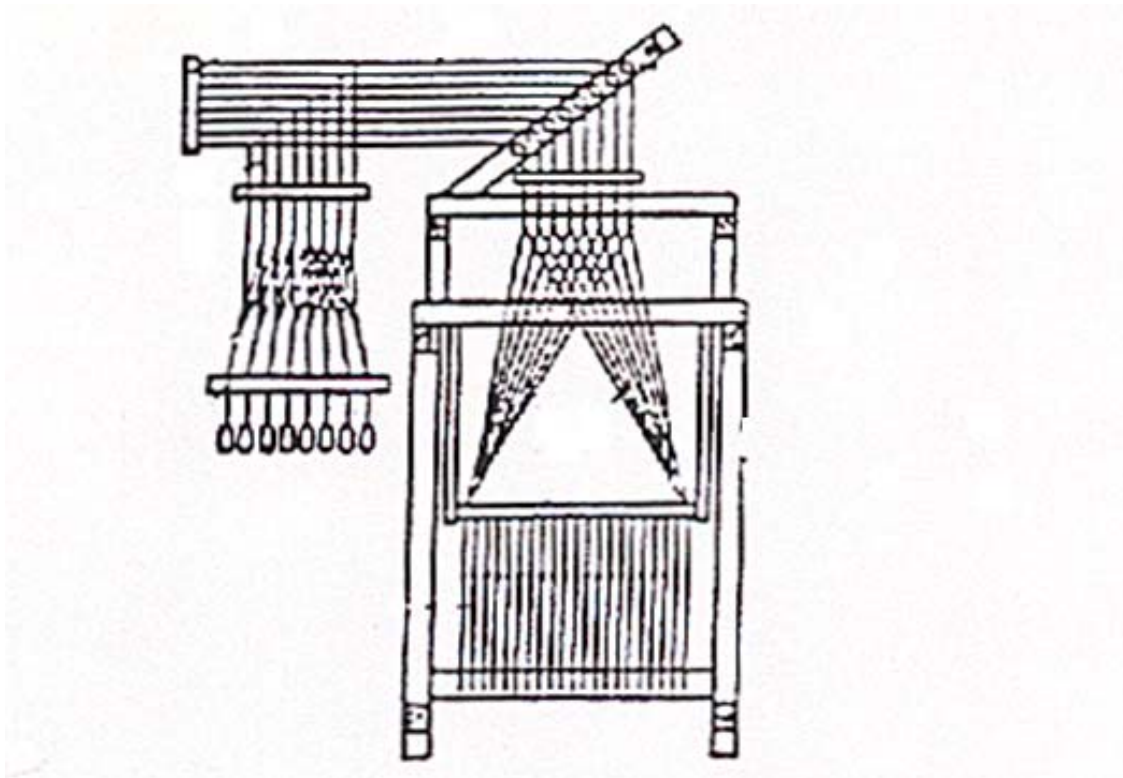


Figura 1.52
El telar de "tirantes" (refs.4 y 6)

Un ayudante del tejedor tiraba de los cordeles para levantar los hilos de urdimbre, ordenadamente, de acuerdo al diseño que se quería obtener.

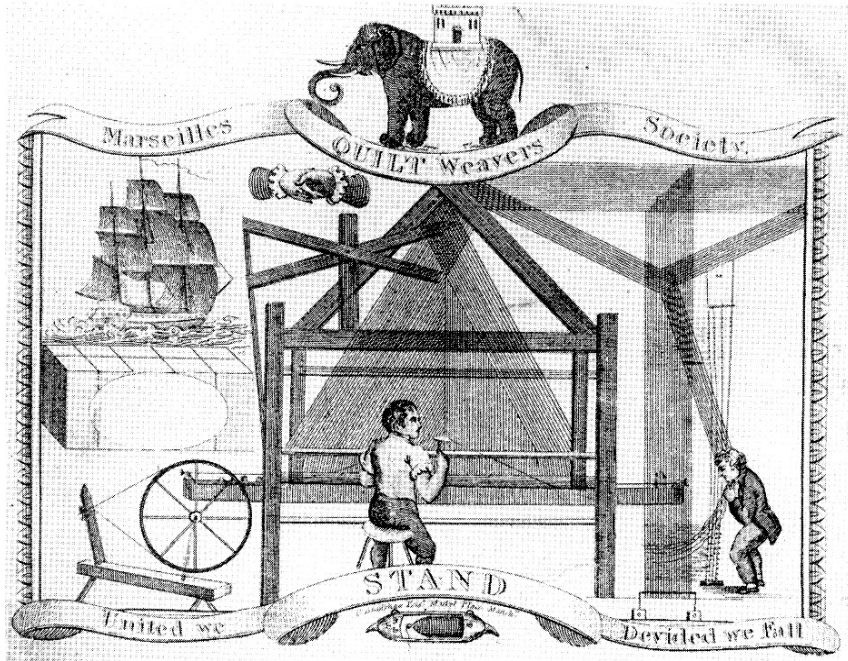


Figura 1.53 – Tarjeta de la Sociedad de Tejedores de Marsella (alrededor de 1825) donde se puede apreciar claramente los mecanismos de un telar de tirantes, el tejedor y el “draw boy”

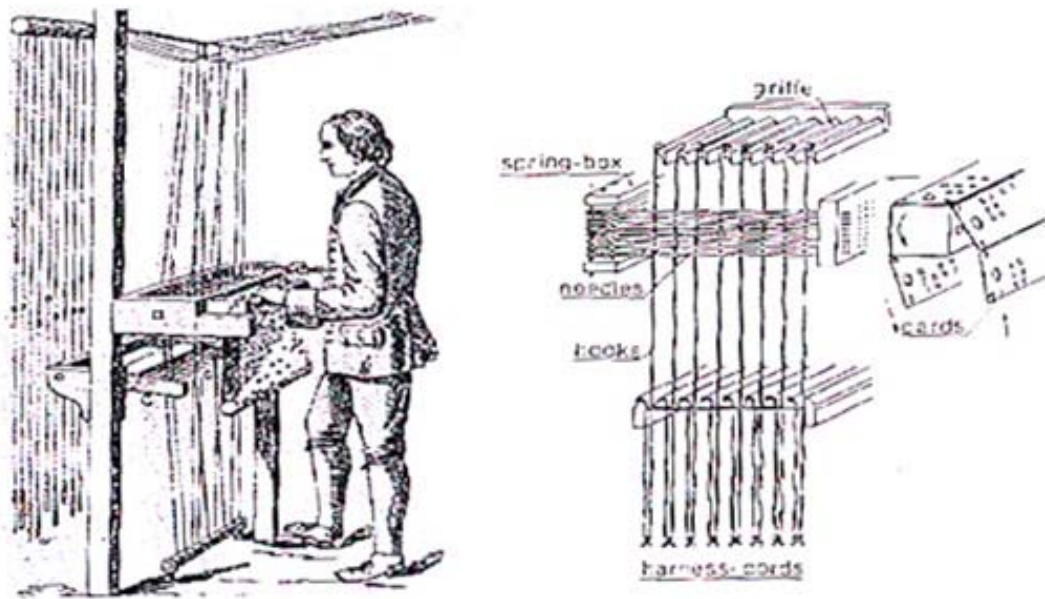


Figura 1.54.

El telar de Bouchon (refs.4 y 6).

Es uno de los más ingeniosos antecesores del telar Jacquard. Utilizaba un rollo de papel grueso con perforaciones. Presionando el papel sobre la hilera de la caja D, las agujas que no encontraban una perforación eran desplazadas y tiraban hacia adelante una cuerda vertical. El tejedor, bajando un pedal, hacía que un peine enganchara estas cuerdas las que eran tiradas hacia abajo. Estas cuerdas al ser tiradas hacia abajo bajaban también las cuerdas horizontales colocadas por encima y mantenidas tensas con contrapesos. A su vez, estas cuerdas horizontales al bajar, tiraban hacia arriba los correspondientes hilos de urdimbre del telar, colocado atrás y que no aparece en la figura. Se movía luego el papel para enfrentar a la siguiente fila de perforaciones que correspondían a la nueva apertura de calada. Tres años más tarde, su asistente *Jean-Baptiste Falcon*, aumentó la cantidad de cuerdas y cambió el rollo de papel por cartones. Diecisiete años más tarde *Jacques Vaucanson* introdujo automatismos que mejoraron el diseño. Recién en 1801 *Jean Marie Jacquard*, basado en estos trabajos previos, desarrolló un telar comercialmente exitoso.

5.3.0- LA PRIMERA MÁQUINA DE TEJIDO DE PUNTO

Otra invención extraordinaria fue la máquina de tejer calcetines o "*stocking machine*," desarrollada por el inglés **William Lee** en el año 1589 (ver Fig.1.55). Esta máquina fue creada unos **doscientos años antes de la Revolución Industrial** y era absolutamente novedosa pues, no se obtuvo por cambios o mejoras de otras máquinas ya existentes. No es difícil imaginar las dificultades constructivas que debió vencer **William Lee**, ya que la producción de las agujas y de las platinas de la máquina, piezas muy pequeñas y de alta precisión, le debe haber exigido sin duda la aplicación de los mejores conocimientos del momento, que en esa época eran manejados, probablemente, solo por artesanos relojeros. Se dice que las autoridades disuadieron a **William Lee**, que era párroco de Calverton, Nottinghamshire, de que siguiera perfeccionando su invento y que a consecuencia de ello tuvo que emigrar a París donde murió pobre.

De todos modos, gracias a este invento la producción de calcetería de punto, en Inglaterra a fines del siglo XVI, se transformó en una actividad muy importante que ocupaba a muchos trabajadores, especialmente en los hogares rurales, que exportaba sus excedentes al continente. Con la máquina de **William Lee** se pudo tejer en forma más barata y más rápida que con las tradicionales técnicas artesanales. Su diseño básico se mantuvo inalterado durante casi 150 años y aún hoy, más de 400 años después, sigue siendo utilizado. A partir de ella la tejeduría de punto se desarrolló sin cesar y es hoy una importantísima rama textil que permite la producción de una variada y atractiva gama de artículos (ref. 12).

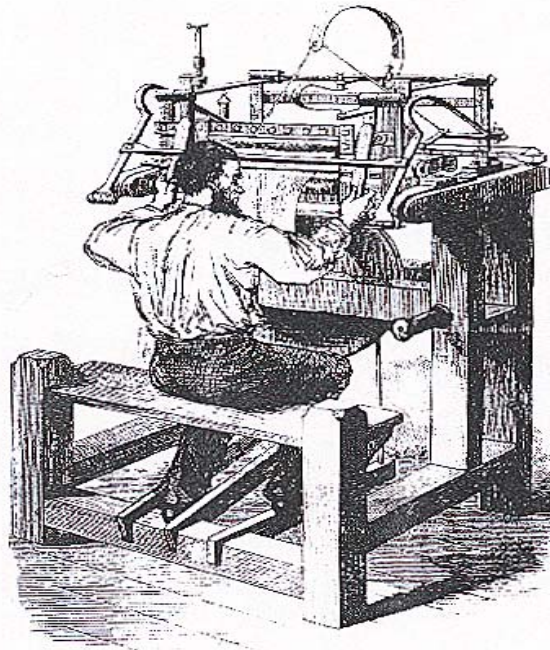


Figura 1.55

LA MÁQUINA TEJEDORA DE PUNTO DE WILLIAM LEE (1590) (ref.12)

El tejido "de punto" a diferencia del tejido "plano" se puede tejer con un solo hilo enlazado consigo mismo. Se obtiene una tela elástica que se adapta fácilmente al cuerpo humano. Para la elaboración de muchos artículos, el tejido de punto es más económico, pues no es necesario "urdir" ni "encolar" como ocurre con el "plano" o de "lanzadera".

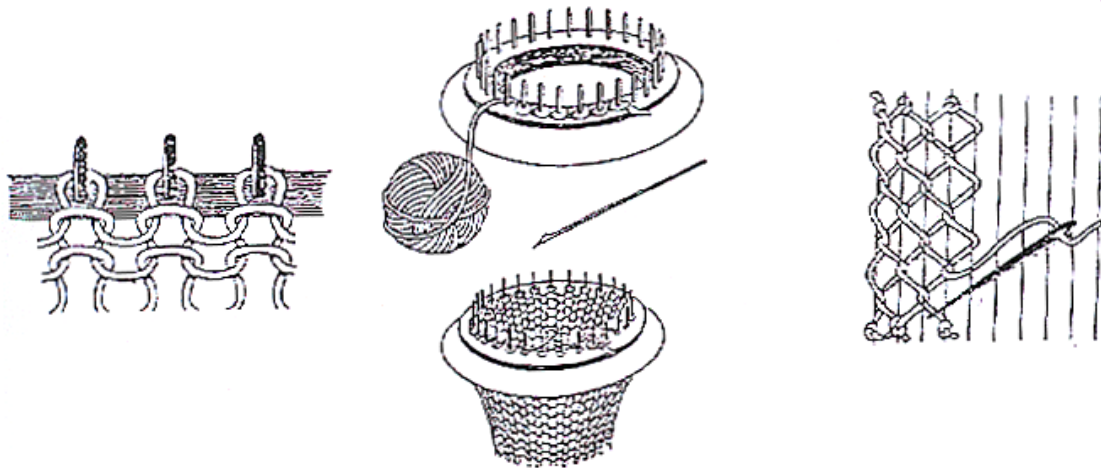


Figura 1.56
Diversas formas de elaborar tejidos de punto

5.4.0- EL TELAR DE JOHN KAY

Es interesante señalar que los ingeniosos mecanismos de **apertura de calada** que se comentaron en la Sección 9, se desarrollaron principalmente en Francia, donde había una importante industria sedera para mercados restringidos y donde era muy importante la producción de diseños complejos y delicados. En Inglaterra y Holanda, en cambio, el interés estaba más orientado hacia los mecanismos de **proyección de la "lanzadera"** en telares anchos, para alcanzar así altas producciones para un mercado en expansión que incluía a sus colonias. El pasaje manual de la lanzadera, realizado por un solo tejedor, exigía obviamente que el telar no fuera más ancho que el alcance de los brazos extendidos del tejedor. La producción era entonces muy baja debido, primero, a la lentitud de inserción manual de trama y, segundo, al poco ancho de las telas que se obtenían. La producción en telares más anchos requería que **dos operarios**, uno a cada lado del telar, se pasaran la lanzadera alternativamente. La velocidad de inserción de trama y por tanto la producción, continuaba siendo muy baja (*ver Figura 1.57*). Un intento de mejora fue un telar holandés que tejía simultáneamente de 4 a 6 cintas angostas con otras tantas lanzaderas. El movimiento de las lanzaderas se operaba manualmente con una agarradera que las corría a todas juntas. Sin embargo, el gran paso adelante fue dado en 1733 con la sencilla y genial idea del inglés **John Kay**, décimo segundo hijo de un comerciante de lana de Bury, Lancashire. La novedad consistió en impulsar una lanzadera con rueditas por la pista del batán, golpeándola de ambos lados del telar con topes forrados de cuero. Estos topes, que también se movían en la pista del batán, eran impulsados por el tejedor, desde cada lado del telar, tirando alternativamente de una cuerda (*ver Figura 1.58*). El gran mérito de la "**lanzadera volante**" de **John Kay** fue que permitió que un solo operario, sentado cómodamente en el centro de la cabecera del telar, pudiera tejer telas anchas, evitando posturas incómodas que tradicionalmente habían provocado problemas de salud característicos de la profesión de tejedor. Sin embargo, este telar no fue bien recibido por algunos que temían que la innovación los dejara sin trabajo. Años después, una turba penetró en su casa y destruyó el nuevo telar. El resto de la vida del inventor estuvo plagada de sinsabores ya que debió litigar continuamente, pues el gobierno inglés no protegió su invención y esta tardó muchos años en aceptarse (*y al principio solo por los tejedores de algodón*). Finalmente, en 1747, **John Kay** emigró a Francia donde murió años después, pobre y sin que se reconocieran sus méritos. Su hijo, **Robert Kay**, fue también un gran inventor que perfeccionó el telar de su padre creando un mecanismo, el

“*drop box*”, para el cambio de lanzaderas con hilados de distintos colores (ref. 4). Estos avances abrieron el camino a los futuros telares mecánicos que comenzarían a desarrollarse a partir de 1787, con el telar de Edmund Cartwright.

Aún antes de que **John Kay** creara su revolucionario telar, era evidente que la producción de hilado no alcanzaba para abastecer a los tejedores en forma regular y satisfacer así la demanda creciente de telas. Era absolutamente necesario aumentar la oferta de hilado (Sección 4.6.0). Se estaba, entonces, en los umbrales de grandes e importantes **cambios tecnológicos** que devendrían también en grandes e importantes **cambios sociales**. O quizás, como también podría afirmarse, *mutatis mutandi*, que grandes e importantes cambios sociales devendrían en grandes e importantes cambios tecnológicos

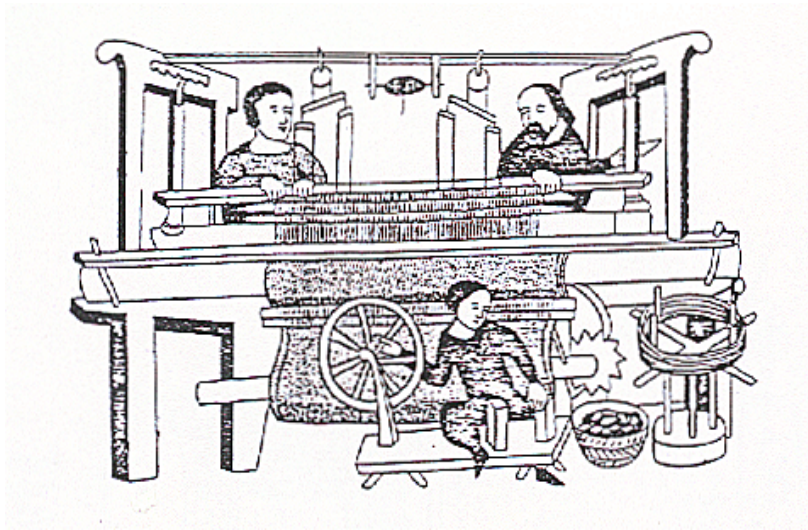


Figura 1.57

Antes del invento de John Kay los telares de lanzadera para telas anchas necesitaban dos tejedores y la producción era más lenta (refs.3 y 6)

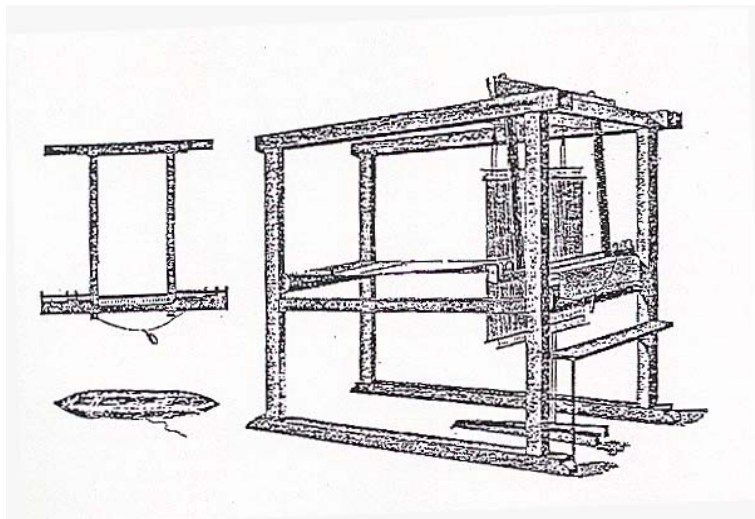


Figura 1.58

Telar de John Kay con detalles del batán y cuerda impulsora de la lanzadera (ref. 4,5 y 9)

5.5.0- LOS TELARES MECÁNICOS

Hacia fines del siglo XVIII el continuo aumento de población en Europa demandaba cada vez más producción de telas. El "cuello de botella" que antes de los inventos de **Hargreaves**, **Arkwright** y **Crompton** estaba en la producción de hilado, ahora se había desplazado a la tejeduría. Hasta entonces, los seis movimientos básicos de un telar (*ver Tabla 1.6*) eran realizados por el operario tejedor, que para ello se valía de sus manos y pies. No resultaba fácil mecanizar dichos movimientos pero, en 1784, **Edmund Cartwright** vicario rural y erudito hizo el primer intento. El telar de **Edmund Cartwright** no resultó muy satisfactorio: era de madera y tenía un único eje, que recibía la fuerza motriz y transmitía el movimiento a todas las piezas. Los movimientos eran muy bruscos y la eficiencia baja (*ver Figura 1.59*). Esos primeros telares también fueron destruidos por turbas de tejedores desesperados por la posible competencia ruinosa que estas máquinas podían hacerles. Sin embargo, el gran mérito de **Cartwright** fue demostrar que era posible construir un telar mecánico y poco a poco estos fueron mejorando.

En 1820 **Richard Robert** creó el primer telar mecánico exitoso (*ver Figura 1.60*). Tenía dos ejes, uno para mover el "batán" y otro para impulsar la "lanzadera". El "batán" era movido desde abajo, según la innovación introducida previamente por **Almond** (*ver Figura 1.61*) y el hierro había sustituido a la madera como material constructivo. En los primeros telares mecánicos la proyección de la lanzadera se lograba por los golpes de una barra por debajo del telar que, con un movimiento similar al de un "limpia-parabrisas", impulsaba la lanzadera (*ver Figura 1.62*). Posteriormente esta pieza se sustituyó por "garrotes" que, sujetos bajo tensión a cada lado del telar, eran liberadas para golpear e impulsar alternadamente a la lanzadera. Este mecanismo tampoco es muy eficiente pues, para disminuir el efecto de rebote, la lanzadera debe ser de alto peso. Se consume mucha energía en esta operación y hay un gran desgaste de todas las piezas (*refs. 4, 5 y 6*).

TABLA 1.5
ACCIONES BÁSICAS DE UN TELAR PLANO

1- APERTURA DE LA CALADA
2- INSERCIÓN DEL HILO DE TRAMA
3- BATANADO DEL HILO DE TRAMA
4- MANTENIMIENTO DE LA TELA ESTIRADA
5- ENROLLADO DE LA TELA TEJIDA
6- DETENCIÓN DEL TELAR CUANDO SE ROMPE UN HILO DE TRAMA O DE URDIMBRE

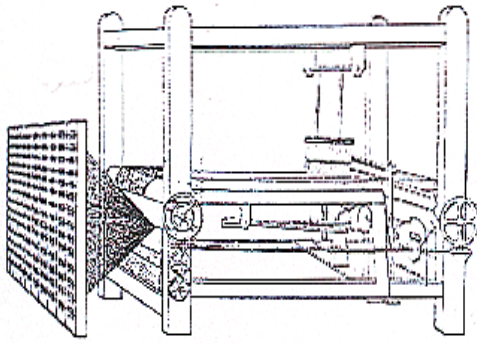


Figura 1.59
El telar de Edmund Cartwright (1786).
incluía todos las acciones básicas del tejido plano
Aunque muy complicado y defectuoso, actuó de
catalizador para los desarrollos siguientes (refs. 4 y 6).

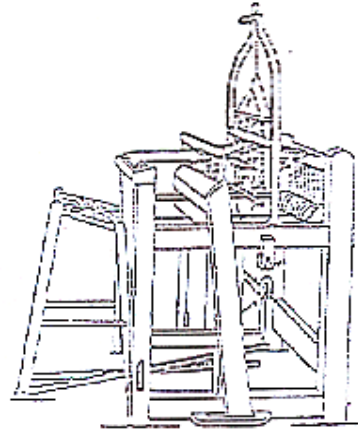


Figura 1.60
El telar de Almond incorpora el batán
accionado desde abajo (ref. 4).

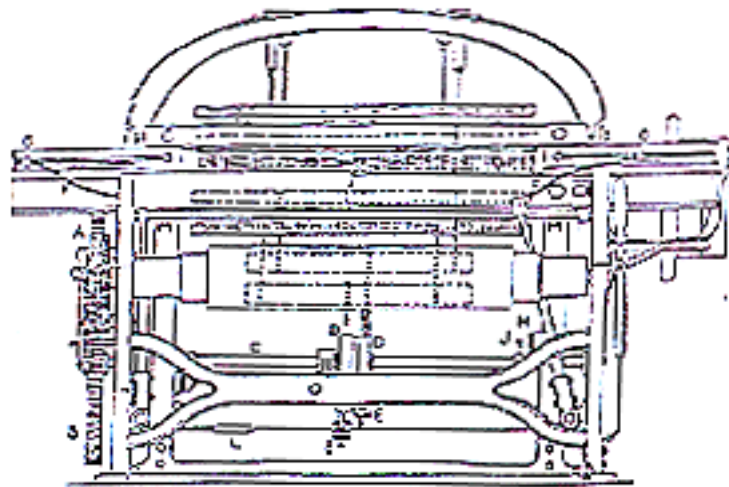


Figura 1.61
El telar de Roberts fue el primer telar mecánico exitoso. Eran accionado por poleas que transmitían el
movimiento de ejes centrales. Estos, a su vez, eran movidos por máquinas a vapor (refs. 4 y 6).

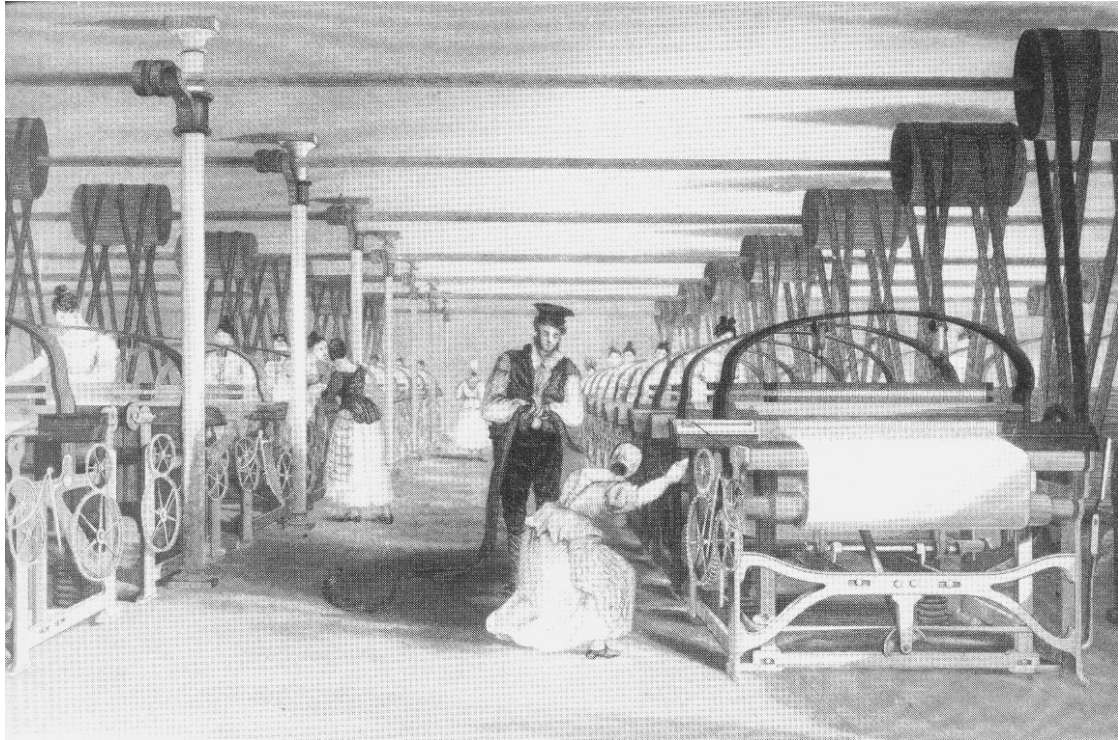


Figura 1.62

Taller de telares mecánicos accionados por poleas y ejes elevados (siglo XIX). Los ejes elevados eran accionados por una máquina de vapor. Notar el listón que, por debajo del telar y con un movimiento de limpiaparabrisas, accionaba la lanzadera.

5.6.0- EL TELAR JACQUARD

En el siglo XVIII la tejeduría era un proceso tedioso que insumía mucho tiempo y las ganancias que obtenían los tejedores eran escasas. Como ya se mencionó (*Secc. 5.2.0*) para hacer diseños complicados, era necesario que un ayudante tirara de cuerdas para levantar las diversas combinaciones de hilos de urdimbre y abrir la calada. Tratando de resolver estos problemas fue que **Joseph-Marie Jacquard**, que había nacido en Lyons - en 1752, en el seno de una familia de tejedores de seda - desarrolló un telar mecánico que podía tejer diseños complejos a partir de la información almacenada en tarjetas perforadas. Estaba basado en el telar inventado previamente por **Basile Bouchon** en 1725 y perfeccionado luego por **Jean Baptiste Falcon** en 1728 y **Jacques Vaucanson** en 1740.

El invento consistió, en realidad, en un mecanismo de apertura de la calada que se podía colocar sobre un telar preexistente. Este mecanismo utiliza cartones perforados que, uno a uno, se les puede hacer tomar contacto con un conjunto de agujas. Aquellas agujas que coinciden con un orificio en la tarjeta de cartón pasan a través sin moverse. Las que **no** encuentran un orificio son empujadas por el cartón y se desplazan hacia atrás sacando de posición unos ganchos. Los ganchos que no han sido sacados de posición, son levantados por un marco que baja y sube alternativamente en cada apertura de la calada. De esa forma los ganchos no desplazados levantan y bajan hilos de urdimbre, en forma individual. Cada gancho puede manejar varios hilos y de esa manera se pueden tejer diseños muy complejos como los brocados, damascos y matelasse.

El telar Jacquard se fue perfeccionando y hoy, con la ayuda de microprocesadores, se pueden obtener telas de complicados diseños con alta productividad. Los telares Jacquard modernos requieren una muy alta inversión y tienen un consumo de energía relativamente alto. Dado su alto costo inicial, deben funcionar el mayor tiempo posible produciendo grandes cantidades de metros de tela (*refs. 8 y 9*). Además el armado de un telar Jacquard para cada diseño requiere mucha mano de obra y por tanto no es económico tejer poca cantidad de metros. Para diseños más simples se utilizan telares con dispositivos más sencillos llamados “pequeños jacquards”, “*rattieras*”, “*dobbies*” o “*maquinitas*” que permiten manejar solo de 24 a 36 “cuadros” o “lizados”.

Los telares Jacquard tuvieron un gran impacto en la industria textil y al principio dejaron a muchos tejedores sin trabajo, lo que empujó a algunos grupos a tratar de destruirlos e incluso agredir personalmente a su inventor. Este tipo de episodios eran frecuentes en esa época y aún hoy es un tema de controversia determinar si los avances tecnológicos disminuyen los puestos de trabajo en el corto plazo, pero los aumentan en el largo plazo.

El telar Jacquard fue la primera máquina que utilizó tarjetas perforadas para controlar la secuencia de una operación y constituye por tanto un antecedente de los primeros diseños de computadoras realizados por Charles Babbage.



Figura 1.63
Preparando las tarjetas perforadas de un telar Jacquard

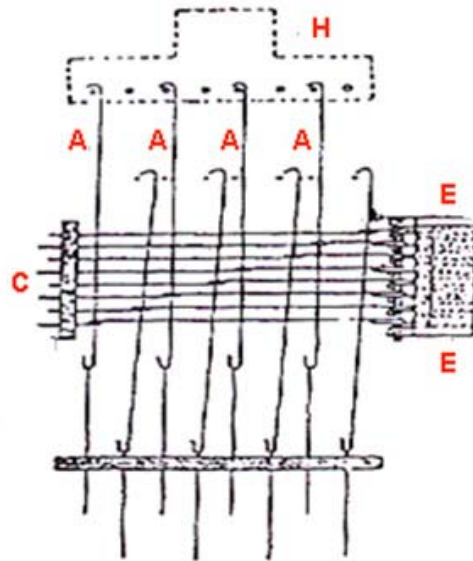
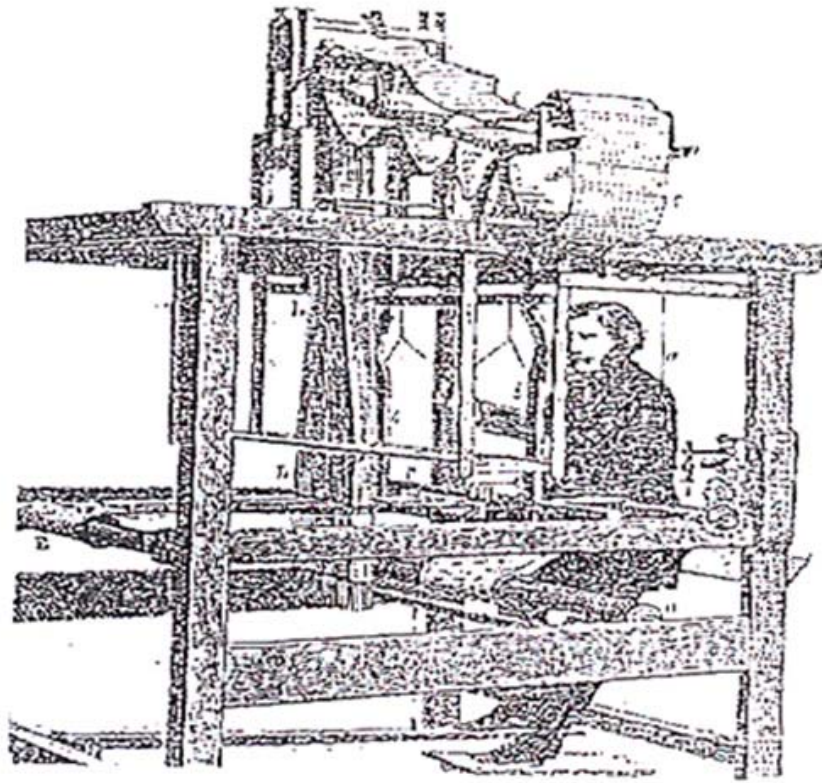


Figura 1.64

MECANISMOS BÁSICOS DE UN TELAR JACQUARD (refs.3 y 6)

Al empujar las agujas "C" contra los resortes "E" con un cartón perforado - que no aparece en la figura - aquellas agujas que coinciden con un orificio en el cartón, no se mueven. Las que no coinciden con un orificio son empujadas por el cartón y se desplazan sacando de posición los ganchos "A" (estos ganchos A pasan por unos "ojos" que tienen las agujas "C"). Los ganchos "A" que no han sido sacados de posición, son levantados por el marco "H" que baja y sube alternativamente en cada apertura de la calada. De esa forma los ganchos no desplazados levantan y bajan los hilos de urdimbre que están por debajo y que tampoco aparecen en la figura. Por simplificación en la figura aparecen solo 8 ganchos pero obviamente puede haber muchos más.

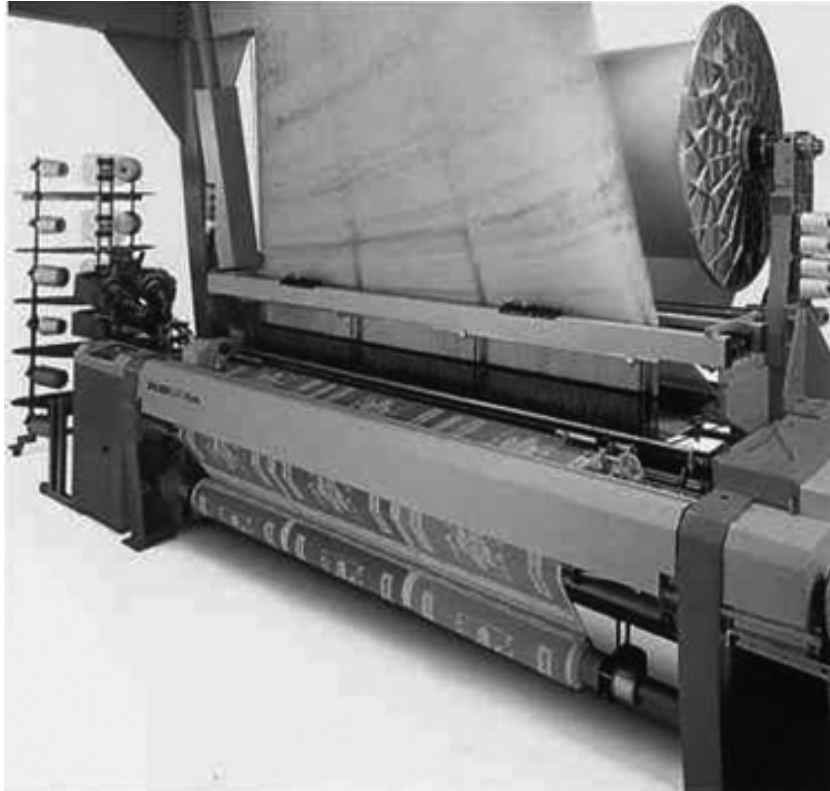


Figura 1.65
Telar Jacquard moderno (año 1995 aproximadamente)

5.7.0- LOS TELARES MODERNOS

Como la lanzadera es una pieza independiente, que no está conectada a ninguna parte del telar, debe entonces portar consigo, en su interior, una bobina o *"canilla"* con el hilado de trama. La cantidad de trama que puede tener una *"canilla"* es limitada, dependiendo del tamaño de la lanzadera y del título del hilado. Por tanto en los primeros telares mecánicos era necesario reponer permanentemente las lanzaderas con sus *"canillas"* completas. De esta forma un operario podía atender unos 8 telares. Esto era un gran adelanto con respecto a los telares manuales pero estaba aún lejos de permitir el aumento de productividad que la demanda de telas imponía.

Recién en 1895 el inglés **James H. Northrop**, trabajando en USA, logra mecanizar el cambio de *"canillas"*. El mecanismo consistía en un *"magazine"* que giraba cargado de *"canillas"* llenas. Las *"canillas"* llenas desplazaban a las vacías cada vez que era necesario. El recambio de canillas se hacía en la fracción de segundo en que la lanzadera se detenía al final de su recorrido. La *"canilla"* vacía salía por debajo de la lanzadera, pues esta era *"hueca"* o *"sin piso"*, y caía en un recipiente. Estos telares Northrop se conocieron como **"telares automáticos"**. No solo cambiaban la *"canilla"* sino que además tenían mecanismos de seguridad que paraban el telar cuando se producía una rotura de hilo de trama o de urdimbre. Según la calidad del hilado, un solo operario podía ahora atender más de 20 telares (refs. 4, 5 y 6)

Si bien en algunas fábricas aún se puede encontrar telares de lanzadera funcionado, estos telares hoy son utilizados casi exclusivamente por artesanos. En los telares de lanzadera se podían lograr unas 200 pasadas por minuto, a velocidades de inserción de trama de unos 600 metros por minuto, aproximadamente. En los telares modernos sin lanzadera (*"shuttleless looms"*) la inserción de trama se realiza por medio de mecanismos mucho más eficientes. En algunos, como p.ej. los **"telares de pinzas"**, la lanzadera ha sido sustituida por **"espaldines tramadores"** o **"rapiers"** que

son dos cintas flexibles (*o en algunos tipos, lanzas telescópicas*), con **pinzas** en el extremo de cada una, y que penetran por cada lado del telar. Las pinzas, en la mitad de la calada, se intercambian el hilo de trama. En otros telares, los “**telares de proyectil**”, el extremo de la trama es transportado a gran velocidad por un “proyectil”. En los **telares “jet”** la punta de la trama es transportada por un volumen de agua o de aire. Con estos telares “jet” se superan las 700 pasadas por minuto lo que, en un telar de 3 metros de ancho implica una velocidad de inserción de trama de más de 2000 metros por minuto. Recientemente se han desarrollado **telares de calada ondulante** que permiten velocidades de inserción de trama aún más elevadas.

TABLA 1.6
EVOLUCIÓN DE LOS TELARES PLANOS

<i>MECANISMOS DE APERTURA DE LA CALADA</i>	<i>MECANISMOS DE INSERCIÓN DE TRAMA</i>
1- Apertura de la calada con un <i>listón</i> de madera	1- Inserción de trama manual
2- Dos cuadros movidos por pedales	2- Inserción de lanzadera manual
3- Varios cuadros movidos con tirantes	3- Telar de John Kay (<i>año 1733</i>)
4- Telar de Bouchon (<i>año 1725</i>)	4- Inserción mecánica de la lanzadera (<i>año 1784</i>)
5- Telar de Jacquard (<i>año 1804 aprox.</i>)	5- Telares Northrop (<i>año 1895</i>)
6- Telares con “ <i>rattieras</i> ” (“ <i>Dobbies</i> ”)	6- Telares sin lanzadera (<i>aprox., año 1950 en adelante</i>)
7- Telares de multicalada (<i>año 2000 aprox.</i>)	

6.0.0- LA DESMOTADORA DE ALGODÓN DE ELI WHITNEY

En la segunda mitad del siglo XVIII la economía de los estados del sur de los E.E.U.U estaba basada principalmente en el cultivo de tabaco, arroz y algodón, con utilización de mano de obra esclava. El cultivo del algodón se limitaba a una angosta franja de clima cálido y húmedo, paralela a la costa de los estados de Carolina y de Georgia. Ese algodón era conocido entonces, y aún hoy, como “*sea island cotton*” (*Gossypium barbadense*) y se caracteriza por tener fibras largas (*30 a 40 mm*) muy suaves y de buena calidad. Sin embargo, a medida que las fábricas textiles inglesas aumentaban su demanda por el algodón americano, los cultivos se extendieron cada vez más hacia el interior de los estados sureños. En esas tierras, sin embargo, se daba un algodón de fibra más corta que se denominó “*de tierra adentro*” o “*upland cotton*” (*Gossypium hirsutum*), con el que se obtenían hilados y tejidos de menor calidad.

Una vez cosechado, el algodón debe ser “**desmotado**”, operación que consiste en separar semillas y restos vegetales de las fibras. En la India desde siglos atrás para ese fin se usaba un rodillo con púas que separaba con relativa facilidad las largas y suaves fibras de algodón hindú. **Joseph Eve** en 1788, en EEUU, patentó una máquina (“*roller-giri*”) que presentaba varias mejoras con respecto al rodillo hindú pero que, como el, solo era adecuada para desmotar el algodón de fibras largas, es decir el “*sea island*”.

El algodón “*upland*”, de fibra corta muy adherida a la semilla, debía desmotarse manualmente lo que requería muchas horas de trabajo extra. Esta tarea la realizaban los esclavos luego de terminadas sus tareas en el campo. No es de extrañar, entonces, que el algodón en aquellos tiempos fuera una fibra relativamente escasa y cara. Algunos estudios señalan que los europeos y los americanos, hacia 1783, consumían un 77% de lana, un 18% de lino y solo un 5% de algodón⁵.

⁵ El algodón fue importado por primera vez en Inglaterra en el siglo 16 e inicialmente se mezclaba con hilados de lino o lana (*ver Sección 4.6.0*). Recién alrededor de 1750 se comenzaron a tejer telas y a confeccionar artículos de

En 1792, en una visita a la plantación de algodón *Mulberry Grove*, ubicada en Savannah, Georgia, un mecánico nativo de Connecticut, **Eli Whitney** - con experiencia en la industria textil de los estados del norte - comprendió que de poder crearse una máquina que permitiera separar en forma eficiente las fibras cortas de algodón, eso sería un gran adelanto. Y en unas pocas semanas de trabajo desarrolló una desmotadora mecánica que luego fue conocida como "*cotton-gin*" ("*gin*" por abreviación de "*engine*").

La máquina consistía en una tolva en cuyo fondo había una rejilla. El algodón tomaba contacto con la rejilla, por debajo de la que giraba un cilindro con ganchos de alambre insertados. Los ganchos enganchaban y tiraban de las fibras de algodón que sobresalían a través de la rejilla mientras que las semillas quedaban retenidas. Luego un cepillo giratorio retiraba las fibras de algodón retenidas por los ganchos. De esta manera un hombre podía separar muchos kilos de fibra al día mientras que, a mano, apenas llegaba al medio kilo.

Estas primeras desmotadoras dañaban algo a las fibras. El algodón "*upland*", que debía desmotarse en estas máquinas, era considerado de mala calidad y se pagaba menos de la mitad de lo que se pagaba por el tipo "*sea island*", desmotado en "*roller-gin*". Como la expansión de la industria textil algodонера inglesa no dejaba opción, la demanda por algodón "*upland*" aumentaba de todas maneras. Para disminuir el daño a la fibra, poco a poco se fueron introduciendo mejoras a las máquinas. Una de las primeras y más importantes fue sustituir los alambres con ganchos - que tiraban de las fibras a través de la rejilla - por discos dentados. Esto permitió un "*desmotado*" menos agresivo y una mayor aceptación del algodón "*upland*". En 1790 - antes de que existiera el "*cotton-gin*" - la totalidad de los escasos 3000 fardos de algodón que se producían en los estados sureños eran del tipo "*sea island*" mientras que, en 1860 y como resultado de las mejoras en el desmotado mecánico, la mayor parte de los 4 millones de fardos que ya se producían, eran del tipo "*upland*".

La generalización del uso de la "*cotton-gin*" tuvo como consecuencia una gran expansión del cultivo del algodón e hizo que los precios fueran más competitivos. Sumado esto a la alta productividad de las nuevas máquinas hilanderas, a los telares mecánicos y al transporte marítimo en buques a vapor, la demanda creció hasta transformar al algodón en la principal fibra textil de consumo mundial (*recién después de 1950 el algodón comenzó a ser superado, en cantidad, por el conjunto de fibras químicas*). A partir de 1800, entonces, la producción de algodón americano, se duplicó cada diez años y, 50 años después, EEUU producía las tres cuartas partes del total mundial. Hacia 1860 la exportación de algodón a Inglaterra alcanzaba a los tres quintos del total de exportaciones de la Unión. El mismo proceso, mirado desde Inglaterra, nos muestra que en 1802 solo el 4 % del ingreso nacional correspondía a la industria textil algodонера pero que ya en 1830, más de la mitad del ingreso nacional provenía de las exportaciones de artículos textiles de algodón.

El desarrollo del "*cotton-gin*", a partir de 1793, marcó también un punto de inflexión en la economía esclavista de los estados del sur. Al contrario de lo que podría pensarse, este tipo de economía no fue un freno para el desarrollo del "*cotton-gin*". Se debe tener en cuenta que los esclavos tenían un valor, que sumado al costo de su mantenimiento, hacía de todas maneras deseable, para muchos plantadores, disminuir el empleo de mano de obra esclava y por tanto las desmotadoras mecánicas fueron bienvenidas. La utilización del "*cotton-gin*" hizo al algodón más lucrativo y por tanto condujo a un aumento de la cantidad de establecimientos que lo cultivaban. Como consecuencia, la esclavitud en lugar de disminuir se extendió - especialmente en los

puro algodón, de manera que la importación de fibra - desde las Indias Occidentales y desde las colonias americanas - aumentó gradualmente hasta que, en 1790, llegó a cifras cercanas a los 15 millones de kilos.

estados de Georgia, Alabama y Mississippi – condición que solo cambió después de la Guerra de Secesión de 1861.

La máquina de **Eli Whitney** (Figs. 1.67 y 1.68) comenzó siendo accionada por un caballo o por fuerza hidráulica y, al poco tiempo, por vapor. Actualmente, algunas desmotadoras modernas - accionadas por motores eléctricos, con aspiración y soplado neumático - limpian, secan, humidifican, clasifican, enfardan y pueden producir 15 o más toneladas de algodón limpio por hora.

El 14 de Marzo de 1794 **Whitney** solicitó una patente para su máquina pero no obtuvo su plena concesión hasta 1807 pues debió litigar durante años, con grandes gastos de tiempo y dinero, contra otros que copiaron o imitaron su máquina. Existe cierta controversia sobre si es correcto atribuir a **Eli Whitney** la idea de la desmotadora y sus elementos constituyentes. Algunos consideran que la invención, o al menos el concepto original, debe acreditarse a **Catherine Littlefield Greene**, con la que había trabajado. En aquella época las mujeres no podían recibir patentes en Estados Unidos y puede que **Greene** pidiese a **Whitney** que la tramitase en su lugar. Los registros de la oficina de patentes también indican que la primera desmotadora puede haber sido construida por un mecánico llamado **Noah Homes** dos años antes de que **Whitney** solicitara su patente.

De todas maneras, a pesar de la importancia que tuvo la "*cotton-girl*" para la producción de algodón y para el desarrollo de la industria textil algodonera - actividad que generó enormes fortunas - el invento de esta máquina no hizo a **Eli Whitney** un hombre rico. Solo muchos años después **Whitney** hizo fortuna como fabricante de armas de fuego. Esto es, en cierto modo, una desagradable culminación de una admirable historia de innovación y emprendimiento.

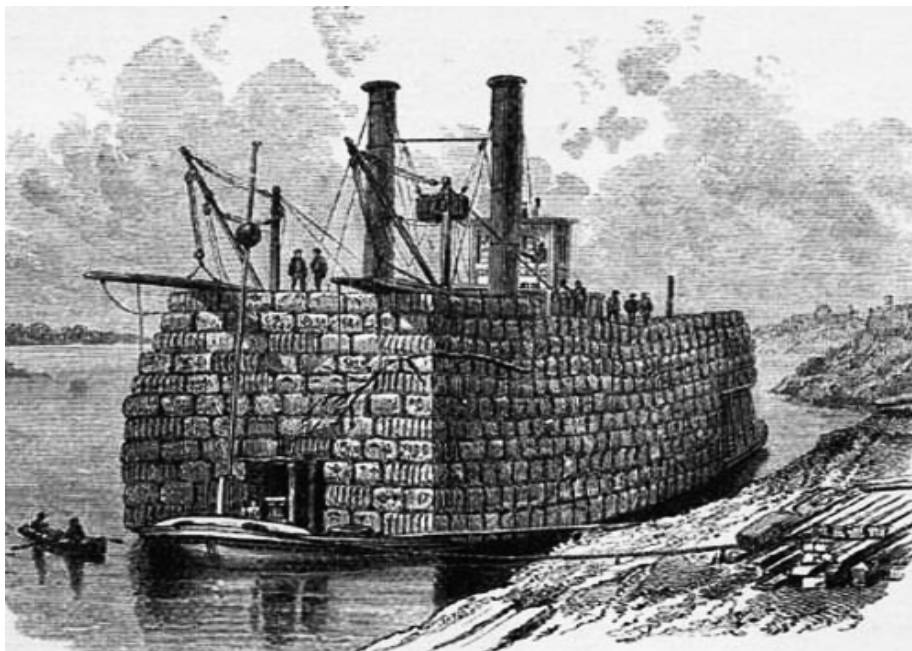


Figura 1.66

Cientos de fardos de algodón se transportaban en lanchones por el río Mississippi pocos años después del invento de la desmotadora de Eli Whitney.

TABLA 1.7

PRODUCCIÓN DE ALGODÓN, E.E.U.U. 1790-1860 (Fardos de 500 lbs. c/u)					
AÑO	PRODUCCIÓN	AÑO	PRODUCCIÓN	AÑO	PRODUCCIÓN
1790	3,135	1815	208,986	1840	1,346,232
1795	16,719	1820	334,378	1845	1,804,223
1800	73,145	1825	532,915	1850	2,133,851
1805	146,290	1830	731,452	1855	3,217,417
1810	177,638	1835	1,060,711	1860	3,837,402

TABLA 1.8

EXPORTACIONES DE ALGODÓN DE E.E.U.U. 1793 - 1800	
AÑO	Kg (*)
1793 (**)	70.000
1794	250.000
1795	750.000
1796	3:000.000
1800	9:000.000

(*) valores aproximados)

(**) Año en que se inventa la "Cotton-gin"



Figura 1.67 - Antigua desmotadora de algodón de Eli Whitney

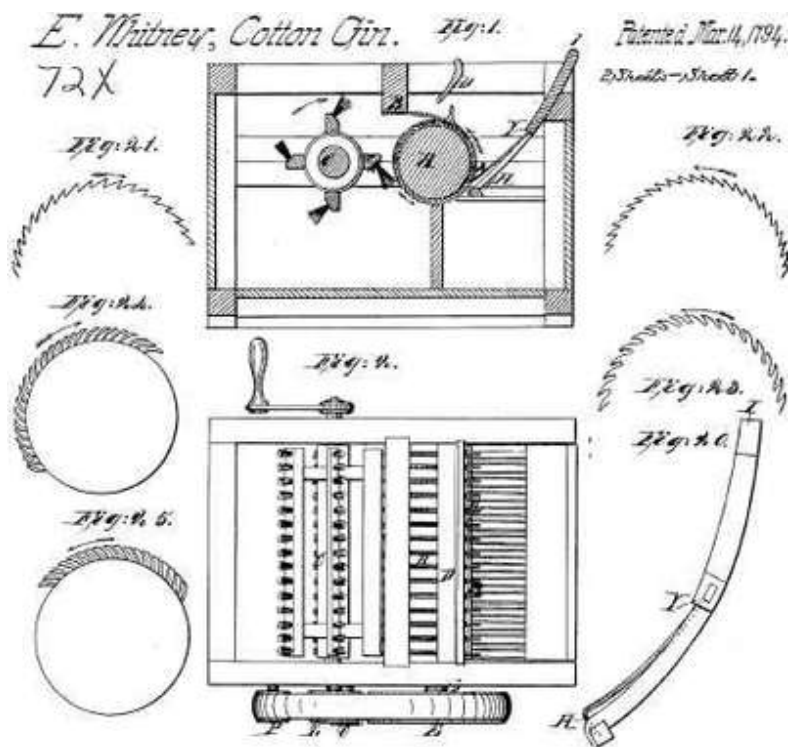


Figura 1.68 - Dibujo en la solicitud de la patente de 1794

7.0.0- LAS FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS

Como ya se ha mencionado anteriormente, el algodón era una fibra conocida y utilizada por el hombre desde 5000 ó más años atrás, pero en Europa recién comienza a ser importante en el siglo XVIII. En Inglaterra la introducción del algodón había sido siempre resistida, especialmente por los hilanderos de lino y lana. Desde tiempo atrás el gobierno inglés había establecido impuestos a la importación, tanto para la fibra en bruto como para los hilados y tejidos. Sin embargo, alrededor de 1760, en los años previos al comienzo de la Revolución Industrial, los impuestos a la fibra se habían suprimido y solo persistían los que gravaban a los tejidos. Las importaciones de artículos de algodón aumentaban año a año. La mayor parte de los sectores financieros, y también del gobierno, pasaron a estar interesados en la importación de algodón, mientras que el lino y la lana entraban en crisis. La importación de algodón sumada a la innovación tecnológica que representaban las nuevas máquinas de hilar y tejer, movidas con la fuerza motriz del vapor, le dio un golpe de muerte a las formas tradicionales de producción artesanal y rural, primero en Inglaterra y luego en toda Europa.

Mientras tanto, las trece colonias americanas de Inglaterra obtuvieron su independencia en 1776. Los estados sureños continuarían suministrando durante muchos años - con mano de obra esclava y, luego de 1793, desmotando con la "*cotton-gin*" de **Eli Whitney** - abundante algodón barato a la cada vez más poderosa industria textil inglesa. Los estados del Norte, en cambio, desarrollaban su propia industria textil con la oposición de Inglaterra que trataba por todos los medios de evitar la copia de sus máquinas de hilar y tejer. Inglaterra, si bien coincidía en sus esquemas económicos con el Norte, apoyaba a los estados del Sur que eran proveedores materia prima barata, imprescindible para su industria algodонера y, a la vez importantes clientes de sus manufacturas.

A mediados del siglo XIX, los estados norteños, para defenderse de la guerra de precios establecida por Inglaterra, impusieron barreras aduaneras para toda la Unión. A los estados sureños esta medida los perjudicaba mucho pues, el algodón era una de las importantes bases de su economía. Los estados del Sur estaban económicamente más vinculados a Inglaterra que a los estados del Norte. Mientras que en el Sur se trabajaba con mano de obra esclava en el Norte las empresas pagaban salarios a sus empleados. Esto significaba una situación incompatible e insostenible para la estabilidad de la Unión y en **1861** estalla una terrible y sangrienta guerra civil, conocida como "**Guerra de Secesión**", que durará cuatro años.

Los estados del Norte establecieron durante la guerra un **bloqueo naval** a los del Sur que impedía el comercio de estos con Inglaterra. Como consecuencia, se produce una gran escasez de algodón en Europa, conocida como "**el hambre del algodón**". Esta escasez tuvo muchas consecuencias políticas y económicas. Entre las más importantes se pueden mencionar: **1)** la afirmación y expansión colonial inglesa en la India, Sudán y Egipto, para asegurarse fuentes alternativas y baratas de algodón, **2)** el aumento de la demanda de lana, como fibra alternativa, que estimula la introducción del ovino y la producción lanera en Australia, Nueva Zelandia, Argentina y Uruguay y, finalmente, **3)** el revolucionario desarrollo de las **fibras artificiales**, que comenzarán entonces a competir con las fibras naturales (*ref. 17*).

Como antecedente de las primeras fibras artificiales, se debe mencionar que desde hacía mucho tiempo se hacían intentos de imitar a la **seda**, única "fibra continua" o "**filamento**" que ofrecía la naturaleza, Pero es recién en 1889 que **Hilaire de Chardonnet** presenta, en la Exposición Internacional de París, un filamento de **nitrocelulosa** que marca el comienzo del desarrollo de las fibras artificiales. Al "**rayón Chardonnet**" le siguió muy pronto el "**rayón cuproamoniaco**", el "**rayón viscosa**" y los "**rayones di y triacetato**" (*ref. 4*). Estos filamentos artificiales - ideados originalmente para imitar la seda pero obtenidos a partir de la **celulosa de madera** - al ser cortados y transformados en "fibras discontinuas", se convirtieron en importantes competidores del algodón. La

“viscosa” y el “diacetato”, como se les llama abreviadamente, son las fibras artificiales⁶ que han sobrevivido con más éxito hasta nuestros días.

Ya avanzado el siglo XX, el conocimiento cada vez mayor de la constitución de la materia así como el desarrollo de la petroquímica y de la química orgánica, permiten la producción de fibras textiles a partir de productos de relativamente bajo peso molecular derivados del petróleo, que por polimerización se transforman en productos de alto peso molecular o polímeros. A estas nuevas fibras químicas se les llamará “fibras sintéticas”⁷ para diferenciarlas de las **fibras artificiales** que se habían obtenido por la modificación de polímeros naturales, es decir sustancias de alto peso molecular ya existentes en la naturaleza, como la **celulosa**. La primera fibra sintética, el **nylon**, fue desarrollada, en 1935 en los laboratorios de la empresa DuPont, por el químico **Wallace Carothers**.

Al “nylon”, lanzado al mercado en 1938, le siguieron luego las fibras “**poliéster**”, las “**poliacrílicas**”, las “**clorovinílicas**”, las “**poliolefínicas**”, las “**poliuretánicas**”, etc. Las fibras químicas, artificiales y sintéticas, constituyen hoy, aproximadamente, la mitad de todas las fibras textiles utilizadas en el mundo (*ref. 4*) (*ver Figuras 1.69 a 1.74*)

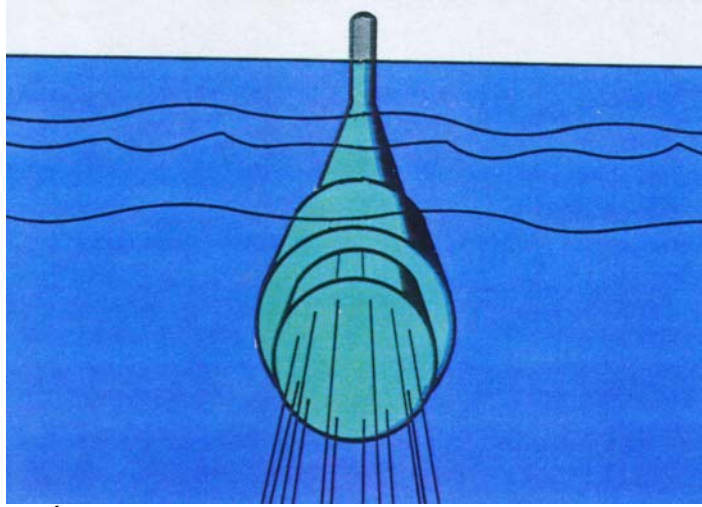
⁶ Se llama “fibra artificial” a aquella que está constituida por un “polímero” natural modificado por el hombre, como p.ej. la celulosa en el caso de la viscosa y de los acetatos.

⁷ Se denominan “fibras sintéticas” aquellas constituidas por “polímeros” hechos totalmente por el hombre, a partir de “monómeros” o sustancias químicas sencillas.

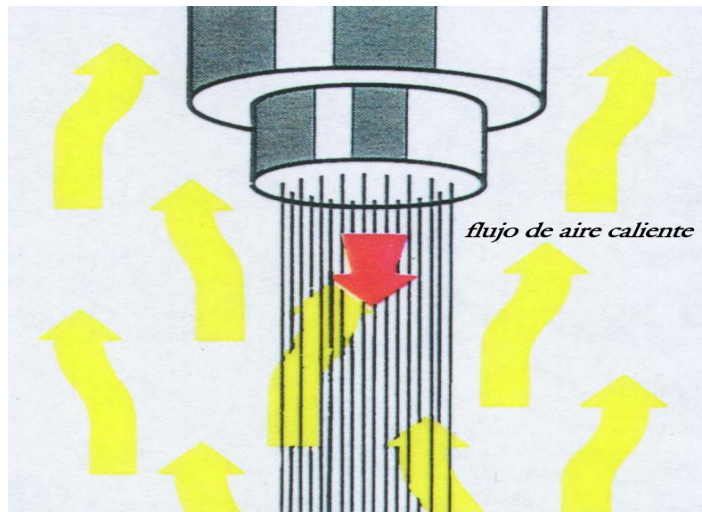
Figura 1.69

MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTOS ARTIFICIALES Y SINTÉTICOS

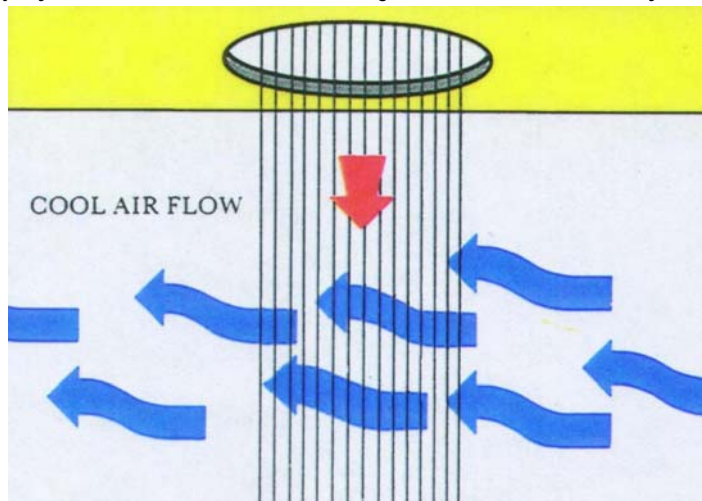
(Figuras reproducidas con la autorización de la "British Man-Made Fibers Federation")



MÉTODO HÚMEDO: el polímero en solución coagula y solidifica por cambio de solvente
(Ej. rayon viscosa, rayon cupro, algunas acrílicas, modacrílicas y elastano)



MÉTODO SECO: el polímero en solución solidifica por evaporación del solvente en aire caliente
(Ej. rayon acetato, triacetato, clorofibras, algunas acrílicas, modacrílicas y elastano)



MÉTODO POR FUSIÓN Y SOLIDIFICACIÓN: el polímero fundido solidifica por enfriamiento
(Ej. poliamidas, poliéster, polietileno, polipropileno)



Figura 1.70 - PRODUCCIÓN DE FILAMENTOS

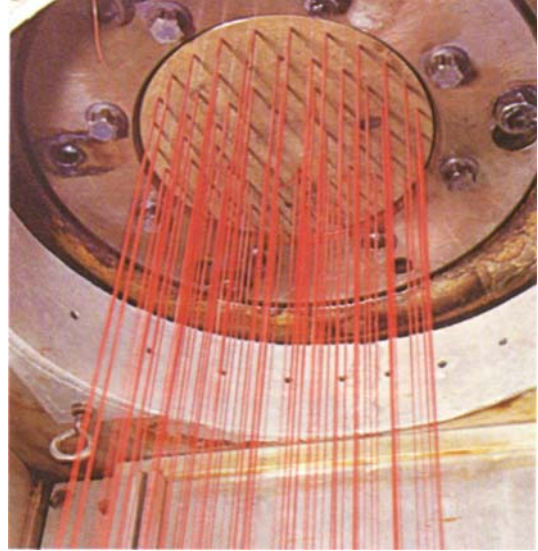
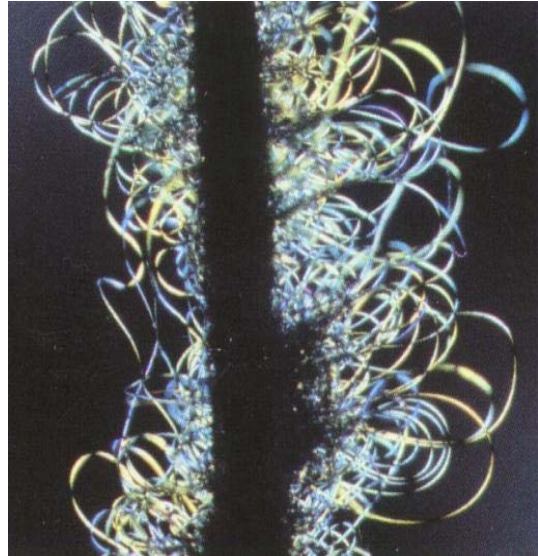
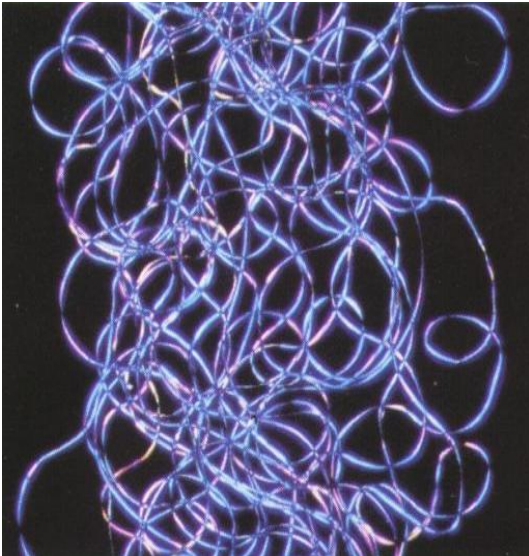


Figura 1.71 - "SPINIRETTE"



Figuras 1.72 y 1.73 - MULTIFILAMENTOS TEXTURIZADOS

La velocidad de producción de filamentos ha pasado en pocos años de 1000 m/minuto a más de 5000 m/minuto a la salida del "spinirotte". Es interesante comparar estos valores con las velocidades de entrega de la hilatura convencional R/S, del orden de los 25 m / minuto, y aún con los de la hilatura O/E, con velocidades de entrega mucho mayores, pero del orden de los 200 m /minuto.

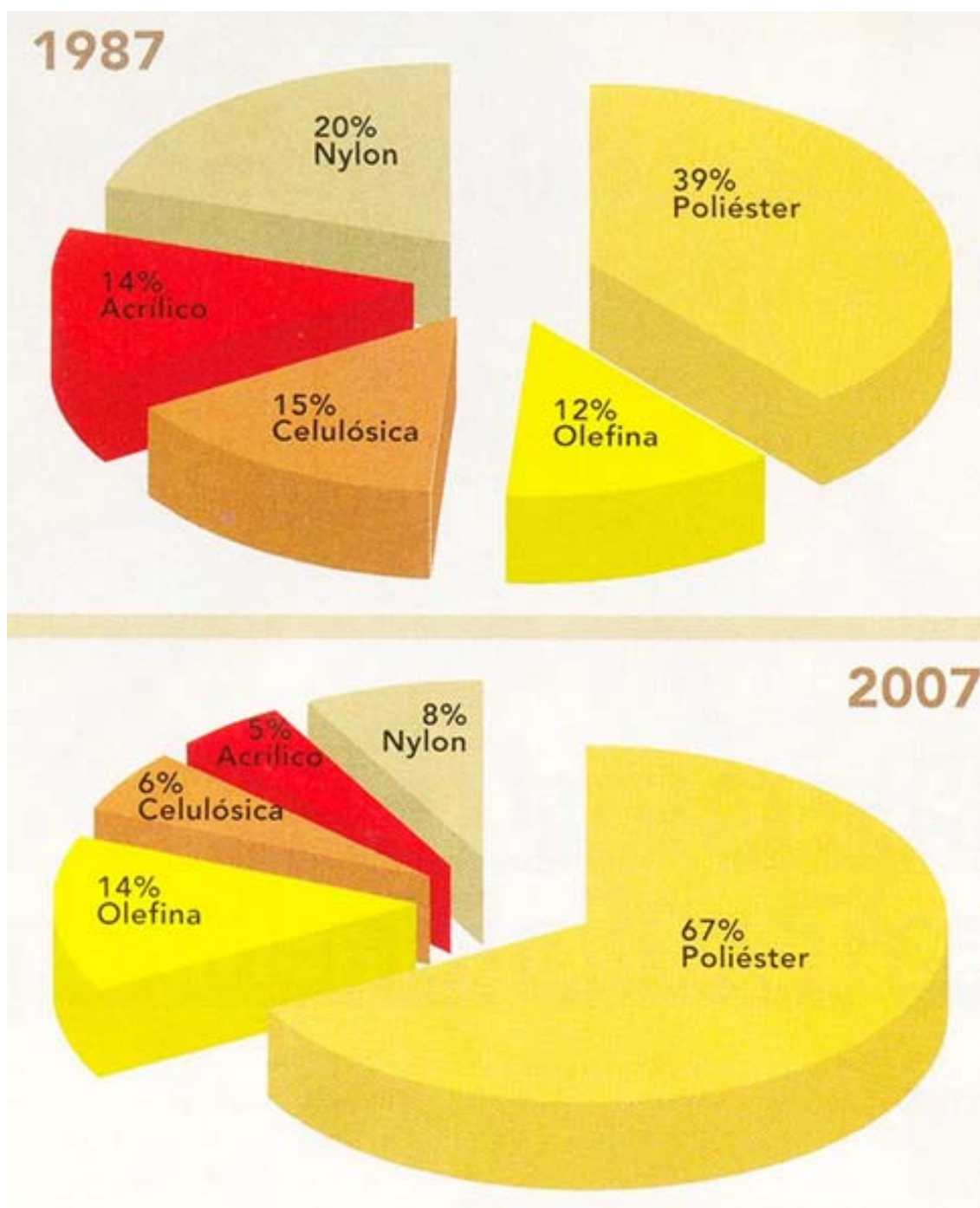


Figura 1.74
PORCENTAJES DE PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS
Fuente: "Fiber Economics Bureau" (FEB)

8.0.0- EL DESARROLLO DE LOS COLORANTES SINTÉTICOS

Desde los tiempos más remotos el hombre se ha sentido interesado y atraído por el color, utilizando diversos materiales para colorear representaciones del mundo que le rodeaba. La pintura de animales y escenas de caza en las cuevas prehistóricas, la evolución de la pintura artística, la decoración de objetos cerámicos, la coloración de los textiles, la moderna industria gráfica, etc., son algunos ejemplos de la importancia que el color ha tenido en la vida y en el desarrollo cultural de la Humanidad.

Hasta 1856, año en que se produce el primer colorante sintético, todas las materias colorantes se extraían de los minerales, plantas o animales que los contenían. El uso de pigmentos minerales en las pinturas rupestres se remonta a aproximadamente 60.000 años AC. Los óxidos de hierro ocres y el negro de humo dispersados en grasa animal eran los colores más utilizados para ese fin.

Se estima que recién en el Neolítico se comienzan a usar extractos de hojas, flores y frutos para teñir textiles. En la Antigüedad el color azul se obtenía principalmente de dos plantas: una originaria de la India, el **índigo** (*Indigofera tinctoria*) y la otra de Europa, el **glasto** (*Isatis tinctoria*). Ambas contienen un glucósido incoloro, el *indicán*, formado por indoxilo y glucosa. El *indicán* al oxidarse con el aire genera un colorante azul. Se estima que el **índigo** rinde aproximadamente veinte veces más colorante que el **glasto**. También se conocía un colorante púrpura, obtenido de un molusco, el "*murex brandaris*", que se encontraba en las costas del actual Líbano. Con él se teñían las capas de los emperadores romanos, por lo que se le conocía como "**púrpura imperial**".

Los extractos de cortezas, hojas, semillas y frutos ricos en **ácido tánico**, se utilizaron inicialmente para teñir de negro y luego también de amarillo, rojo y marrón, tratando previamente el textil con sales metálicas o "**mordientes**". Es sorprendente comprobar que, a pesar de su relativa complejidad, este método de tintura se conocía ya en épocas muy tempranas. Un ejemplo es la raíz de la **Rubia** o **Granza** (*Rubia tinctoria*), que contiene el colorante "mordentable" **alizarina** con el que se obtenían rojos, púrpuras y marrones, y que fue muy utilizada en Europa desde comienzos de la Edad media o antes. Otro ejemplo es una madera que se traía de Java y Ceilán que por su color rojo como "brasa" se llamó "**palo brasil**". En el 1500 el portugués Pedro Cabral al llegar a las costas de Sudamérica encontró gran cantidad de arboles de "*palo brasil*" y entonces esta madera le dio el nombre al nuevo país que se estaba descubriendo. El extracto de esta madera, según el metal utilizado para "mordentar" el textil, producía diversos tonos de rojos y marrones.

En el siglo XV al descubrirse nuevas rutas marítimas se pudo disponer de una mayor cantidad y variedad de colorantes naturales. Algunos ejemplos son el **cachú** o **cachunde**, extraído de las hojas de un árbol originario de la India; la **cochinilla** mexicana, colorante carmín extraído de insectos; la **morina** brasileña o "fustic nuevo" (*morus tinctoria*); el "**palo campeche**" de Yucatán, México; el "**quercitrón**" (*quercus velutina*) extraído de la corteza del roble negro del sur de USA; etc.

En el siglo XIII, en las ricas ciudades comerciales de Italia existían ya **corporaciones** o **guildas** de tintoreros pero recién en el siglo XVII estas organizaciones se habían generalizado en casi toda Europa. En general era de dos tipos: las que agrupaban a los "tintoreros de colores finos" que se ocupaban de teñir telas caras, y las que agrupaban a los "tintoreros comunes", que teñían sólo telas baratas. Los tintoreros de seda, en general, si bien tenían ciertos contactos entre ellos, se mantenían al margen de estas corporaciones.

Los “**tintoreros de colores finos**” debían teñir con colores “firmes” y entre los colorantes que utilizaban estaba el índigo y el glasto para los azules, la rubia (*alizarina*), la cochinilla y el quermes para los rojos y el **sumaque** o **fustete** para los amarillos. Los tonos de azules y rojos brillantes que se obtenían con estos colorantes no podían obtenerse con ninguno de los otros conocidos. Los “**tintoreros comunes**” teñían en cambio prendas sin mayores exigencias de solidez al lavado y a la luz utilizando **palo campeche** para gris y negro, **palo brasil** para los rojos, etc. En la Tabla se indican algunos de los colorantes naturales de mayor importancia histórica.

TABLA 1.9 - ALGUNOS COLORANTES NATURALES

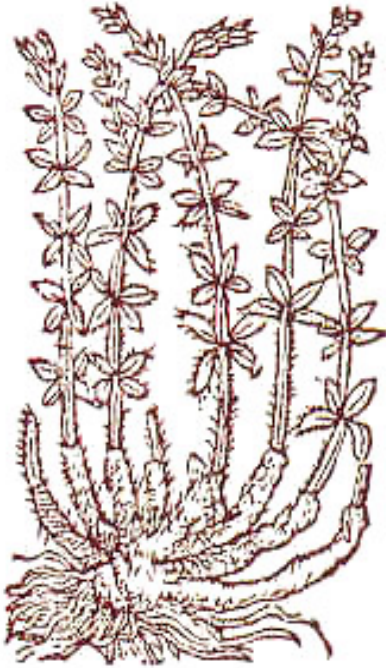
<i>NOMBRE ESPAÑOL</i>	<i>NOMBRE INGLÉS</i>	<i>NOMBRE CIENTÍFICO</i>	<i>REGIÓN DE ORIGEN</i>
ÍNDIGO o AÑIL	INDIGO	Indigofera tinctoria	India
GLASTO	WOAD	Isatis tinctoria	Europa
PÚRPURA	PURPLE	Murex brandaris (*)	Costas de Líbano
RUBIA o GRANZA	MADDER	Rubia Tinctorum	India, Asia Menor
COCHINILLA	COCHINEAL	Dactilophus coccus (**)	México
QUERMES	KERMES	Coccus ilicis (**)	Siria, Líbano
PALO CAMPECHE	LOGWOOD	Haematoxilon campechanum	México, C. América
PALO BRASIL	REDWOOD	Caesalpinia braziliensis	Java, Ceilán, Brasil
SUMAQUE	FUSTIC (old)	Rhus cotinus	Europa, Asia Menor
MORINA	FUSTIC (young)	Chlorofora tinctoria	Centro América
GUALDA	WELD	Reseda lutiola L	Europa, Asia
CACHÚ o CACHUNDE	CLUTCH	Acacia catechú	India, Malasia
AZAFRÁN	SAFFRON	Crocus sativus L	Grecia, Asia Menor
CÁRTAMO	SAFFLOWER	Carthamus tinctoria	Irán, Irak
QUERCITRON	QUERCITRON	Quercus velutina	USA
ANATO o ACHIOTE	ANNATO	Bixa orellana	Ecuador, Perú, Brasil

(*) caracol marino (**) insectos

En 1856, **William Perkins**, un estudiante de química de 18 años, tratando de sintetizar **quinina** (*la única droga que en esa época podía aliviar la malaria*) obtuvo un producto completamente distinto. **Perkins** oxidó **anilina**, un producto obtenido de la destilación de la hulla, con bicromato de potasio y ácido sulfúrico diluido, y obtuvo una solución de un colorante violeta, al que llamó **mauveína**, y que resultó ser muy apropiado para la tintura de seda. Obtuvo también un precipitado negro, a partir del que luego se desarrollaron los “**negros anilina**”. Al poco tiempo, **Perkins** instaló, con la ayuda de su padre y hermano, una fábrica para producir **mauveína** o **malveína**, a la que, en pocos años, siguieron otros colorantes sintéticos, tanto o más exitosos.

Con estos descubrimientos se inicia el vertiginoso desarrollo de la **industria de los colorantes sintéticos**. En un mundo que había dependido solamente de colorantes naturales relativamente escasos, la aparición de los colorantes sintéticos fue una revolución que cambió por completo los estándares de belleza. Al mismo tiempo la **química orgánica** avanzó enormemente y la subsiguiente síntesis del **índigo** y la **alizarina** - colorantes naturales conocidos y apreciados desde la Antigüedad - fueron pasos importantes en este sentido. Con este impulso nacen también otras industrias que se desarrollan vigorosamente: la industria **farmacéutica**, la de **pesticidas** agrícolas, la de los materiales **plásticos**, etc. Al **alquitrán de hulla**, como primer y principal fuente de materia prima para la producción de colorantes sintéticos, se le une pronto el **petróleo**, como fuente complementaria y/o alternativa, lo que contribuye también al desarrollo de la **petroquímica**. Actualmente, con más de 150 años de establecida, la industria de los

colorantes sintéticos ofrece una abundante y variada gama de productos. Paralelamente a este crecimiento, se han desarrollado también técnicas capaces de impartir colores atractivos, durables y brillantes a prácticamente todo tipo de materiales.



rojo (alizarina) utilizado antiguamente para teñir lana.



plantas y del que también se extrae un colorante rojo que tiñe lana y seda

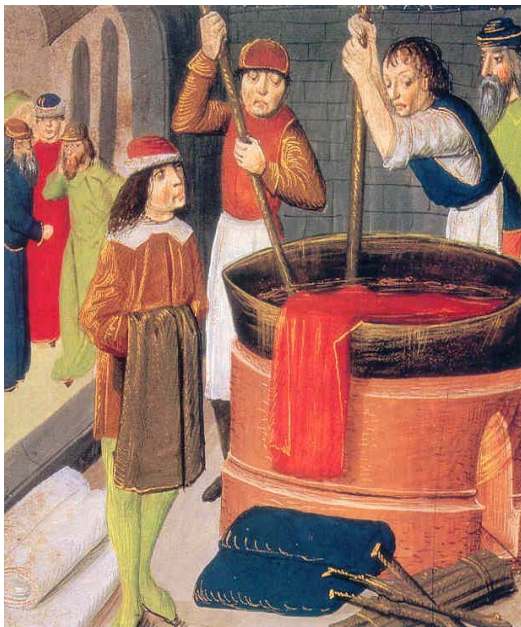


Figura. 1.77
Tintorerías de la Edad Media



Figura 1.78
En 1856 William Perkins obtuvo el primer colorante sintético: la Mauveína

9.0.0- LA ESTAMPACIÓN TEXTIL

La estampación textil es un caso especial de impresión gráfica en la que el sustrato, en lugar de ser papel, es una tela. Desde el punto de vista del tintorero se le puede considerar como una tinte localizada o por sectores.

En un telar Jacquard se pueden tejer telas de diseños muy complejos y atractivos (*p.ej. brocados y damascos*) utilizando hilados de diferentes colores, pero en general el costo de estas telas es alto. Con la **estampación textil**, en cambio, se puede también obtener una gran riqueza de diseños pero a costos menores.

Desde la Antigüedad se conocía la estampación con tacos de madera que, portando un diseño - ya sea este tallado o grabado como en la tipografía o en el huecograbado moderno - se entintaban y se aplicaban, como un sello, varias veces sobre las telas para obtener diseños repetitivos (*ver Figura 1.79*). También en muchas regiones se conocía la técnica de recubrir parcialmente la tela con cera - de acuerdo a un diseño preestablecido - y teñir luego las partes libres de cera. Esta técnica es aparentemente, originaria de la isla de Java y se conoce con el nombre de "Batik".

Se estima que ya en el Renacimiento comienza a utilizarse la estampación serigráfica, que consiste básicamente en entintar, a través de una malla parcialmente cubierta, las partes de tela que quedan libres para ser teñidas. Este procedimiento era muy utilizado en Europa ya en el siglo XVIII, especialmente por la industria sedera de Lyon, y por ello actualmente se le conoce como "*estampación a la lyonesa*" (*ver Figura 1.80*). Por esa misma época, los tejedores ingleses se oponían fuertemente, a la importación de algodones estampados provenientes de la India o "calico printings" ("*calico*" es una abreviación de "*Calicut*" nombre inglés de la ciudad de Calcuta) y también a la naciente industria local de estampación, pues consideraban que las telas estampadas, por ser más baratas, competían fuertemente con sus telas tejidas en telar (*ref.4*).

De todas maneras, las técnicas de estampación textil se fueron afirmando y a fines del siglo XIX, en Inglaterra, **William Morris (1834-96)**, una personalidad brillante y multifacética, le dio un gran impulso a la estampación textil, que era uno de sus grandes intereses y donde su influencia fue más notoria y extraordinaria. **Morris** fue uno de los principales ideólogos del movimiento "**Art and Craft**" por el que se trataba de rescatar el valor y la belleza de la artesanía, en gran medida avasallada por la **Revolución Industrial** y la **producción en serie**. Rechazó el mercantilismo en el arte, luchando por un arte hecho por la gente y para la gente y como una manifestación de felicidad, tanto para el que hace el objeto artístico como para el que lo usa. Como empresario supervisaba directamente la producción de las artesanías con extraordinaria dedicación al trabajo manual y a los detalles técnicos. La estampación textil fue una de las actividades en la que más investigó. Profundizando en el conocimiento de los colorantes y otros materiales de estampación, lo que le permitió desarrollar fórmulas y técnicas que le conferían a sus telas estampadas un colorido, brillo, solidez y precisión de diseño, no logrados hasta entonces. Muchas de sus obras pueden verse aún hoy en el **Museo de Victoria y Alberto**, en Londres. Finalmente como poeta, escritor y político luchó siempre por los más altos ideales de la libertad de pensamiento y de la justicia social, participando activamente en la vida política de la Inglaterra de fines del siglo XIX (*ref. 4 y 6*).



Figura 1.79 - *Estampación con bloques de madera*

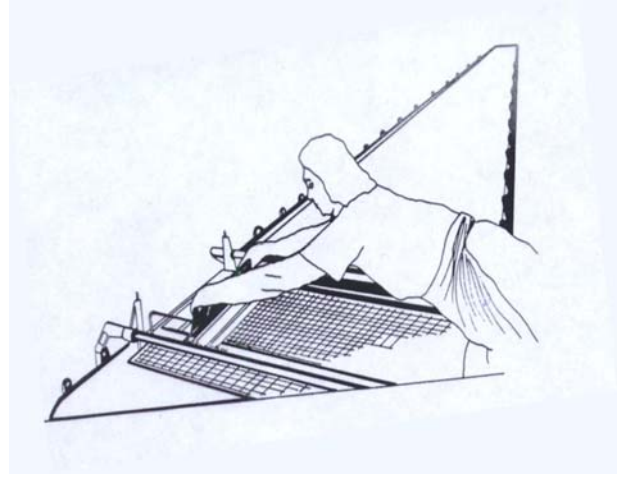


Figura 1.80 - *Estampación a la "Lionesa" con "schablon"*



Figura 1.81 - *Estampación plana con shablons"*



Figura 1.82 - *Estampación rotativa en huecograbado*

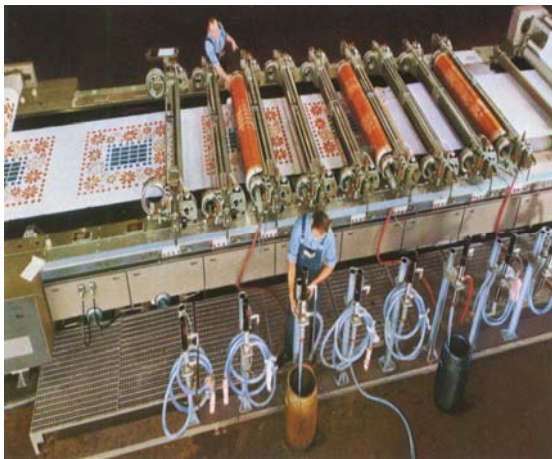


Figura 1.83 - *Estampadora rotativa "Reggiani"*

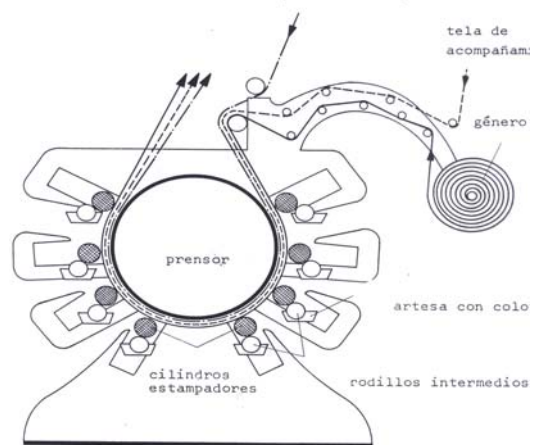


Figura 1.84 - *Estampadora de cilindros*



Figura 1.85



Figura 1.86



Figura 1.87



Figura 1.88



Figura 1.89



Figura 1.90

Figuras 1.85 a 1.90
ESTAMPADOS ANTIGUOS

Por su orden, 1) tela estampada con bloques de madera grabados (1770), 2) tela estampada con placa de cobre grabada (1769), 3) "chintz" estampado con motivos florales en barras (1790-1800), 4) "chintz" estampado con bloques de madera (1805), 5) "chintz" floral estampado con rodillos de madera (1835), 6) "chintz" estampado con diseño de William Morris (1875).

"Chintz" es el nombre tradicional de telas, generalmente de algodón, teñidas o estampadas, con una terminación que les confiere una mano firme y suave y aspecto brillante. Estas telas se utilizan frecuentemente en tapicería.



Figura 1.91
William Morris, fotografía tomada en la década de 1870
(ref. 1)

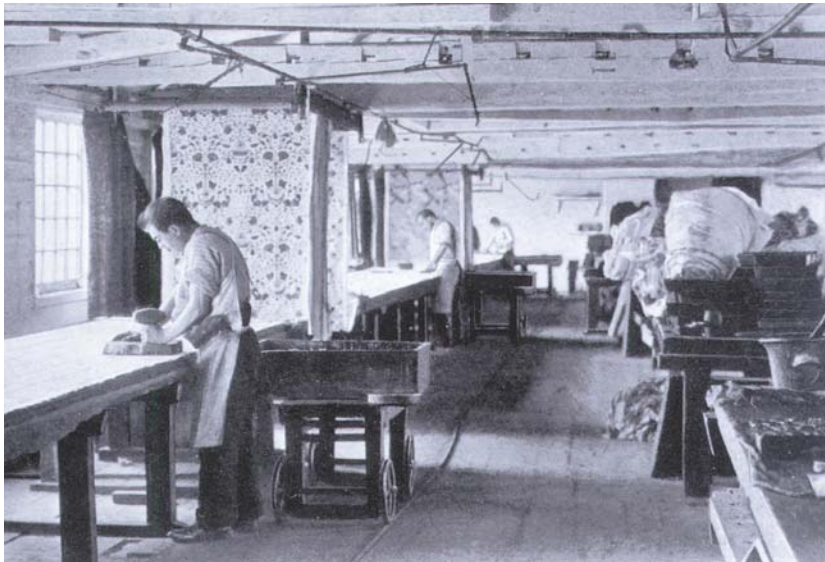


Figura 1.92
El taller de estampación instalado por Whillam Morris, en 1881, en Merton Abbey, Surrey
(ref. 5)

10.0.0- LA CONFECCIÓN DE ARTÍCULOS TEXTILES

La confección de prendas y otros artículos textiles fue, hasta bien entrado el siglo 20, una actividad predominantemente **artesanal** realizada en el hogar o en pequeños talleres por costureras y sastres. Sin embargo, estos gradualmente fueron quedando relegados a atender la demanda de mayor poder adquisitivo, capaz de pagar prendas hechas a medida. En cambio, la producción en serie, en grandes talleres y fábricas, de modelos previamente diseñados, ha aumentado sin cesar y se ha transformado en una importante actividad industrial.

La **industria de la confección** de prendas es considerada una "industria liviana" pues requiere relativamente poco capital y mucha mano de obra y por ello es una actividad apropiada para países con economías en desarrollo. En economías más desarrolladas, con costos de mano de obra más elevados, la industria de la confección se especializa, en general, en producir artículos de alta moda o de tecnología avanzada o que requieren una rápida respuesta a las demanda de sus mercados.

Se deben distinguir por lo menos dos grandes campos en la confección de vestimenta: la confección de prendas de **tejido de punto** y la confección de prendas hechas con **tejidos planos**. En este segundo grupo se deben incluir las prendas, generalmente descartables luego de un solo uso, hechas con "**telas no tejidas**". Las "**telas no tejidas**", como su nombre lo indica, no son tejidas con hilados sino producidas directamente con fibras por elaboración de un velo que luego es cohesionado con adhesivos o por punzonado. Con la excepción de los fieltros de lana - que son telas "no tejidas" conocidas desde siglos atrás - el resto de las telas "no tejidas" comienzan a producirse aproximadamente a mediados del siglo XX utilizando fibras artificiales y sintéticas.

En todos los casos se puede decir que el **diseño**, el **confort**, el **color**, el **precio** y la **adaptación a la moda** son los elementos más importantes que generan la aceptación o no de una prenda textil. En las últimas décadas se han producido innovaciones en todas las operaciones importantes del proceso de confección de prendas, innovaciones que han transformado a esa actividad en una industria moderna. El **diseño** asistido por computación (**CAD**), el **corte** de las telas con rayo láser y el desarrollo de las modernas **máquinas de coser y bordar de alta velocidad** son algunos ejemplos de los avances producidos. Pero se debe mencionar además como un factor de fundamental importancia **la aplicación de técnicas de gestión de calidad**.

Actualmente, la **gestión total de la calidad** es imprescindible para que una empresa sea competitiva y se mantenga en el mercado, cualquiera sea la actividad que realice, y esto es especialmente aplicable a la industria de la confección textil. **La calidad** puede ser definida como el conjunto de **propiedades y características** de un **producto o servicio** que le confieren a este **aptitud para satisfacer las expectativas**, expresas o implícitas, del **consumidor** de esos productos o servicios".

El concepto de calidad, existía ya desde el **Paleolítico** en la elaboración de los primeros útiles (*herramientas y armas*), que eran producidos uno por vez. Se trataba de una "auto-factura" en la que el consumidor era el mismo que fabricaba, controlaba y usaba. En el **Neolítico**, cuando aparecen una cantidad de nuevas técnicas (*agricultura, hilatura, tejeduría, alfarería, metalurgia, etc.*) se sigue haciendo un artículo por vez pero hay ya división y especialización del trabajo. En la **Edad Media** continua la modalidad de producción artesanal de productos únicos, con una mayor división del trabajo pues se produce en talleres, templos y corporaciones ("*guildas*"). En estos productos únicos tiene gran importancia el diseño pues este debe satisfacer tanto al artesano como al usuario. Cuando, en la Europa del siglo XVI se produce la **Revolución Industrial** y aparece el **sistema de producción fabril** se pasa por una etapa en que se prioriza

más la cantidad producida que el diseño. Como el productor comienza a alejarse cada vez más del consumidor, a medida que nos acercamos al siglo XX, se va haciendo cada vez más necesario el control de calidad del producto y finalmente la gestión total de calidad de la empresa. Debemos destacar una de las estrategias para la mejora continua de la calidad basada en un concepto ideado por Walter A. Shewhart y desarrollada por E. W. Deming denominada espiral de mejora continua o más sencillamente "Círculo Virtuoso de Deming" y que consta de cuatro pasos básicos conocidos como: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar.

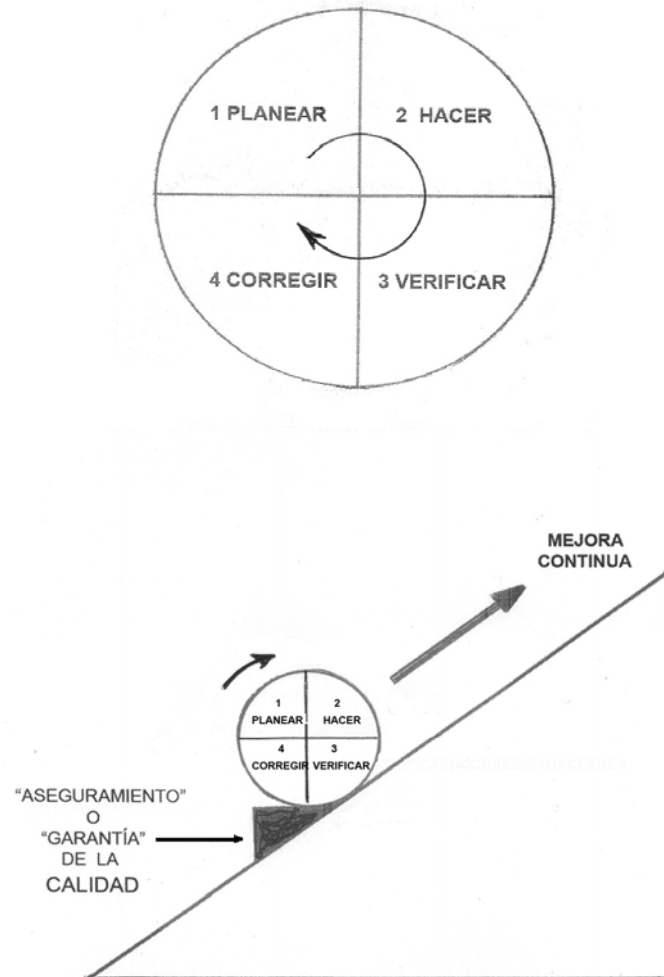


Figura 1.93
EL CÍRCULO VIRTUOSO DE DEMING

Con la adopción de la estrategia del **Círculo de Deming** la empresa incorpora un proceso de **mejora continua**. Si se pretende que este círculo siempre esté girando y siempre subiendo por un plano inclinado hacia estados de calidad más alta, también se deberá tratar de que no haya retrocesos. En ese modelo, eso se lograría "colocando una cuña" detrás del círculo evitando así un giro inverso y descendente. Parte de esa cuña estaría constituida, p.ej. por los *sistemas de aseguramiento de la calidad* como las **Normas ISO 9000**.

TABLA 1. 10
INVENCIONES Y DESARROLLOS DE IMPORTANCIA
PARA LA TECNOLOGÍA TEXTIL

PERÍODO HISTÓRICO	AÑOS	INVENTO O DESARROLLO
Paleolítico (Recolectores-cazadores nómades)	50000-10000 a.C.	Utilización del fuego
Neolítico (Revolución Agrícola)	10000-5000 a.C.	Utilización de las fibras naturales para uso textil. Hilatura manual. Telares primitivos (<i>de cintura, etc.</i>)
Antigüedad	5000 a.C-400 dC	Huso de Hilar. Telares horizontales y verticales con lizos movidos a pedal.
Edad Media	400-1400 dC	"Torno-huso" de hilar. Telares de "tirantes" para diseños complejos.
Renacimiento	1400-1500 dC	"Molinado" de la seda. "Rueca" de hilar.
Moderna (Revolución Industrial)	1500-1900 dC	Máquina de tejido de punto de William Lee (1589) Sistema de impulsión de la "lanzadera" de J. Kay (1733) Rodillos de estirado de Lewis Paul y John Wyatt (1738). "Spinning Jenny" de James Hargreaves (1767) "Water Frame" de Richard Arkwright (1769) Máquina de vapor de James Watt (1769) "Spinning Mule" de Samuel Crompton (1779) Primer telar mecánico de Richard Cartwright (1784) "Desmotadora" de algodón de Eli Whitney (1794) Hiladora "Selfactina" (1793-1825) Telar de Jean Marie Jacquard (1804) "Ring Spinning" o hiladora continua "de anillos" (1825) Fibras artificiales o "Rayones" (1846-90) Primer colorante sintético: "mauveína" de W. Perkins (1854) Telar automático de Northrop (1890-94)
Contemporánea	1900 en adelante	Primer fibra sintética: el "nylon" de W.A.Carothers (1935) Primeras producciones de hilado de poliéster (1939-44) Primer sistema de hilatura "open-end" (1967) Aplicación de la informática, la automatización y la robótica en la industria textil

11.0.0- APÉNDICE

11.1.0 - LAS MÁQUINAS DE VAPOR

Los grupos humanos del Paleolítico contaban solo con su propia fuerza muscular para realizar sus actividades. Recién en el Neolítico se comienza a utilizar la fuerza muscular de los animales domesticados empleándolos para arar la tierra y transportar cargas. Con el desarrollo de poleas y engranajes se comienza a utilizar la fuerza animal para la molienda de granos. También la fuerza del viento fue empleada tempranamente para impulsar embarcaciones a velas y para mover molinos o elevar agua a cierta altura. El momento en que aparecen los primeros molinos a viento y los hidráulicos, movidos por corrientes de agua como arroyos y ríos, no se conoce con precisión, pero hay pruebas de su existencia en Oriente Medio y en el norte de Europa alrededor del siglo VII.

El gran cambio se produce en el siglo XVIII con el desarrollo de máquinas capaces de utilizar el poder expansivo del vapor de agua⁸. **Hero de Alejandría**, en el siglo III AC, había ideado una esfera de bronce, dentro de la que se producía vapor de agua que al salir a través de dos tubos opuestos, generaba un par de fuerzas que hacía girar la esfera (ver Figura 1.94). Esta máquina no pasó de ser un juguete al que, a veces, se le atribuía cierto carácter mágico. Recién cuando **James Watt**, en 1763, desarrolla su máquina de vapor - basándose en los trabajos previos de **Denis Papin** (1647-1714), **Thomas Savery** (1650-1715), y **Thomas Newcomen** (1663-1729) - resulta posible utilizar, en forma eficiente y en grandes proporciones, la energía química contenida en los combustibles fósiles (primero el carbón y luego el petróleo). Se inicia así para la Humanidad un periodo de cambios sociales profundos conocido como **Revolución Industrial**.



Figura 1. 94 - La Aeópila o Eópila de Herón de Alejandría

⁸ Un volumen de agua pasa a ocupar, aproximadamente, un volumen 1800 veces mayor, cuando a presión atmosférica, se transforma en vapor.

11.1.1 - DENIS PAPIN, 1647-1714

La historia de las primeras máquinas de vapor requiere algunos cometarios previos sobre la evolución de las ideas sobre la presión atmosférica. En 1644 Evangelista Torricelli (1608- 1647) realizó un sencillo experimento con el que demostró que la presión atmosférica se compensaba con la ejercida por una columna de mercurio de 760 milímetros de altura o la ejercida por una columna de agua de 10,33 metros. En 1654, Otto Von Guericke (1602 - 1686), con su famoso experimento de Magdeburgo, hizo una espectacular demostración de la inmensa fuerza que la atmósfera podía ejercer. Mostró que dos hemisferios de bronce, huecos y de 50 centímetros de diámetro - ajustados de manera que formasen una esfera dentro de la que se hizo el vacío - fue imposible separarlos a pesar que de cada uno de ellos tiraron ocho caballos. En otro experimento construyó un émbolo o pistón capaz de moverse dentro de un cilindro que, por encima del émbolo estaba en contacto con la atmósfera. Si con el émbolo ubicado en la parte superior del cilindro, se creaba vacío por debajo del émbolo, la fuerza de varios hombres no podía impedir que la presión atmosférica empujase el émbolo nuevamente al fondo del cilindro. Tales experimentos condujeron a la idea de que si se lograba crear ese vacío repetidas veces, se podría utilizar la presión atmosférica como una fuente de energía. Esta idea se utilizó para la construcción de las primeras máquinas de vapor llamadas, por este motivo, **atmosféricas**.

Después de varios intentos con distintos sistemas para conseguir el vacío necesario, **Denis Papin** fue el primero en utilizar el vapor de agua para este fin. En 1687 publica un trabajo titulado "Nouvelle manière pour lever l'eau par la force du feu", en el que describe el funcionamiento básico de su máquina, consistente en un cilindro vertical en el que penetra vapor de agua por encima del émbolo que es desplazado hacia abajo lo que le permite empujar y elevar un volumen de agua a un nivel superior. Abriendo y cerrando las válvulas adecuadas, se permite que la presión atmosférica reponga agua desde el depósito que se quiere elevar, el vapor por encima del émbolo se purgue y un nuevo ciclo comience. La máquina de **Papin** fue un gran paso adelante pues demostró que se podía utilizar concertadamente el **vapor de agua** y la **presión atmosférica** para mover un émbolo hacia arriba y hacia abajo en el interior de un cilindro (ver Figura 1.95).

11.1.2 - THOMAS SAVERY, 1650-1715

A finales del siglo XVII, el uso del coque en la metalurgia del hierro acrecentó la demanda de carbón, pues de él se obtenía el coque. Durante la extracción del carbón en las minas inglesas se producían filtraciones de agua subterránea que se acumulaba en el fondo, lo que representaba un grave problema. Era, entonces, necesario desarrollar algún dispositivo para elevar desde el fondo de la mina esa agua y sacarla al exterior. **Thomas Savery** patentó en 1698, un dispositivo con ese fin (Figura 1.97).

La máquina de **Savery** - que fue en un principio llamada "El amigo del minero" - era una ingeniosa bomba de vapor. Sin embargo su uso presentaba el inconveniente de trabajar con altas presiones y esto, con frecuencia, provocaba accidentes.

Componentes de la máquina:

- A - GENERADOR DE VAPOR O RETORTA
- C - ALIMENTACIÓN DE AGUA A LA RETORTA
- F, I - "EMBOLO" SEPARADOR DE AGUA Y VAPOR
- D - CILINDRO DONDE SE DESPLAZA EL EMBOLO
- G - DEPÓSITO DE AGUA QUE SE DESEA ELEVAR
- N - DEPÓSITO DE AGUA ELEVADA
- E, n - GRIFOS DE ADMISIÓN Y SALIDA
- S, T - VÁLVULAS DE RETENCIÓN

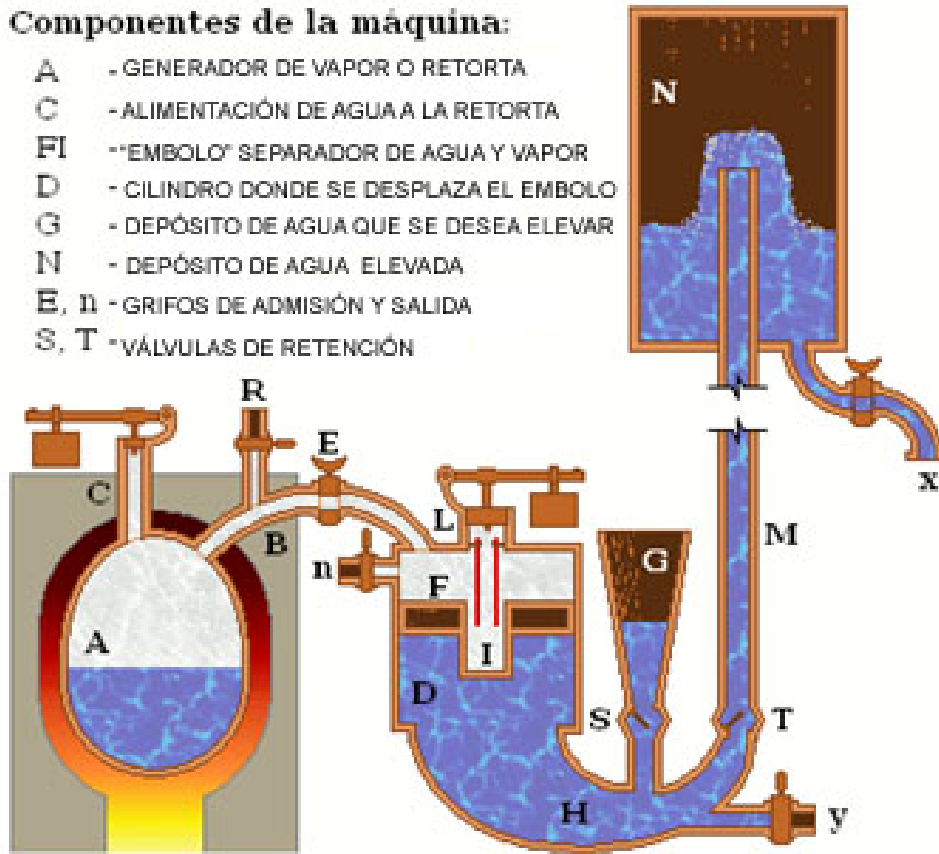


Figura 1.95 - **DISPOSITIVO TÉRMICO DE DENIS PAPIN**

En el dispositivo de Papin el generador de vapor o retorta (A) tiene un tubo (C) por el que se suministra el agua que se transformará en vapor. El tubo (C) posee una válvula de regulación que permite - desplazando un peso a lo largo de la palanca de cierre - regular la presión del vapor en el interior de la retorta. La retorta (A) está dentro de un horno de ladrillo. El aire caliente proveniente de la combustión de carbón sale por la parte superior del horno manteniendo caliente la retorta (A) y el tubo (B).

El tubo (B) comunica la retorta a través del grifo (E) con el cilindro (D) y permite el pasaje del vapor generado en (A). Al entrar vapor al cilindro (D) el movimiento del émbolo (F) hacia abajo, con la válvula (S) cerrada, desplaza y eleva unos 90 litros de agua. Al abrirse la válvula unidireccional o de retención (S) y cerrarse la válvula también unidireccional (T), el agua desplazada es restituida desde el depósito (G), donde está el agua que se desea elevar hasta (N).

El émbolo (F) es hueco lo que le permite flotar en el agua por lo que desde un punto de vista mecánico este émbolo no es tal si no un mero separador de agua y vapor. En su centro tiene una depresión cilíndrica (I) cuyo propósito es dejar espacio para introducir unas barras de acero al rojo para mantener el vapor caliente. El ciclo de dos etapas se controla mediante los grifos (E) y (n) y las válvulas automáticas (S) y (T). Con ambos grifos cerrados y el émbolo (F) arriba, se abre (E) y entra vapor desde la retorta (A). El émbolo (F) baja, impulsando y elevando el agua a través del tubo (M) hasta el depósito (N), a través de la válvula (T) que se abre hacia arriba por la presión del agua. Con el émbolo (F) abajo, se cierra el grifo (E) y se abre el grifo (n) para evacuar el vapor del cilindro. La válvula (T) se cierra por el peso de la columna de agua impidiendo el retorno de la misma desde (N). Al mismo tiempo se abre la válvula (S) reponiéndose agua desde (G) - **empujada por la presión atmosférica** - y el émbolo (F) vuelve a subir hasta su posición superior inicial. Esta máquina también se utilizó para elevar el agua que se depositaba en el fondo de las minas de carbón. Podía también ser utilizada para mover un molino hidráulico o para cualquier otro uso.

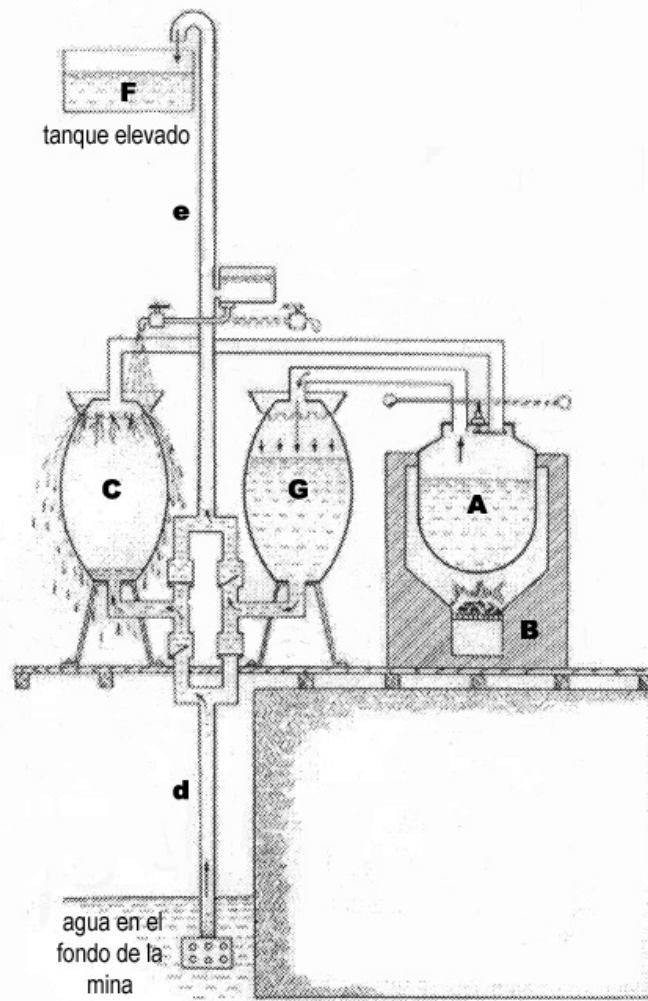


Figura 1.96 - DISPOSITIVO TÉRMICO DE THOMAS SAVERY

En el dispositivo de **Thomas Savery** (ver Figura) se generaba vapor en una caldera (A) colocada dentro de un horno de ladrillos (B), donde se quemaba carbón. El vapor generado en (A) pasaba a un tanque (C) que estaba conectado al fondo inundado de la mina por un tubo (d). Una vez que (C) se llenaba de vapor, se le refrigeraba externamente con una ducha de agua fría lo que hacía que el vapor condensara, **generando vacío** en el interior de (C), lo que a su vez hacía subir agua por (d) desde el fondo de la mina. El agua ascendía por (d) impulsada por la **presión atmosférica** y por tanto la altura entre el dispositivo y el fondo de la mina, a donde bajaba el tubo d, no podía ser mayor a 10,33 metros. Una vez que (C) estaba lleno de agua, se inyectaba nuevamente vapor que por su presión desplazaba y hacía subir el agua por (e) hasta el depósito elevado (F) (a una altura aproximada de unos 20 metros). Se disponía de un segundo tanque (G) que permitía un trabajo alterno: mientras uno de los tanques se llenaba de agua desde el fondo de la mina, el otro (previamente ya lleno de agua) recibía vapor que elevaba el agua al depósito (F). Estos movimientos de vapor y agua estaban sincronizados con la apertura y cierre de **válvulas de retención** que permitían el pasaje de los fluidos en una sola dirección. En este dispositivo de bombeo no había ningún pistón ni partes mecánicas móviles, excepto las válvulas de retención y los grifos. En él se utilizaba tanto la presión del vapor de agua como la presión atmosférica que se ejercía cuando el vapor condensaba y producía un vacío parcial en (C) o (G).

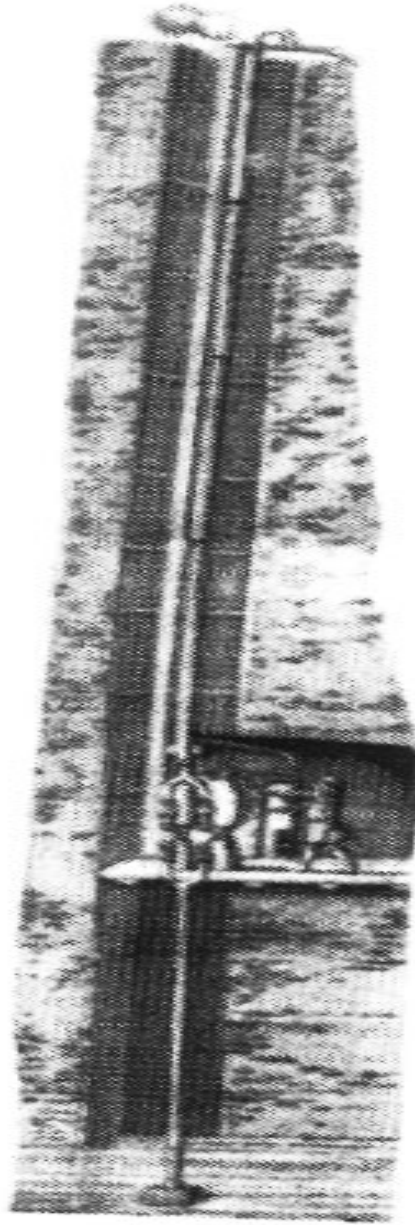


Figura 1.97

*La altura entre el fondo de la mina y el dispositivo de Thomas Savery debía ser menor a 10,33 metros, lo que ya se sabía desde las investigaciones de Evangelista Torricelli (1608-1647) y Blaise Pascal (1623-1662), pues esta era la altura de agua que compensaba la presión atmosférica a nivel del mar. Esa altura debía ser menor que 10,33 metros de agua pues el vacío producido - en los tanques C y G del dispositivo- no era absoluto. Por otra parte, la presión del vapor de agua que se inyectaba en C y G podía elevar agua, como máximo, a una altura del orden de los 20 metros. En consecuencia el dispositivo de Thomas Savery no podía extraer agua de profundidades mayores a aproximadamente **30 metros**. Además, debido a la rotura frecuente de los caños, - que no resistían la presión del vapor - hizo que "el amigo del minero", como se le llamó al dispositivo, no fuera en realidad muy usado en las minas. Se usó sí, en cambio, para elevar agua a los pisos altos de los edificios de Londres.*

11.1.3 - THOMAS NEWCOMEN, 1663-1729

Los dispositivos térmicos de **Papin** y **Savery** eran “**máquinas atmosféricas**”, ya que la presión atmosférica actuaba - para reponer agua en la máquina de **Papin** o empujar hacia abajo el pistón en la de **Savery** - contra el vacío producido por la condensación de vapor. Además de peligrosas no eran suficientemente potentes ni baratas como para cumplir con las demandas que se estaban produciendo.

Para eliminar estos problemas, unos años después, entre 1705 y 1725, a **Thomas Newcomen** que había trabajado para **Savery**, se le ocurrió utilizar la fuerza de vapor para **mover a distancia** una bomba impelente colocada en el fondo del pozo de drenaje de la mina. Si se conseguía accionar a distancia el brazo de la bomba de achique, sin necesidad de colocar la máquina en el interior de la mina - y sin utilizar grandes presiones de vapor - se reducirían sensiblemente los riesgos de explosiones. Esta máquina también puede considerarse atmosférica pero era mejor que la de **Savery** (ver Figura 1.96)

La máquina de **Savery** no era más que una bomba de vapor mientras que la máquina que desarrolló **Newcomen** era un **motor de combustión externa** que convertía calor en energía mecánica. Las ventajas de esta máquina, desde el punto de vista práctico, eran tantas que rápidamente sustituyeron a la de **Savery**. A finales de la década de 1710 prácticamente todas las minas de carbón de Gran Bretaña tenían instalados los sistemas de bombeo de **Newcomen**, exportándose, en los años siguientes, a las colonias americanas y a otros países europeos.

Sin embargo el trabajo de **Newcomen** para el desarrollo de su máquina de vapor fue fundamentalmente empírico, fruto de la habilidad, experiencia y conocimientos adquiridos mientras fabricaba componentes para las bombas de **Savery**. El hecho de que el sistema de bombeo de **Newcomen** no estuviera basado en fundamentos teóricos hizo que las máquinas tuvieran eficacias muy dispares, dependiendo de los tamaños relativos de los componentes que lo conformaban. Como consecuencia de esto, **John Smeaton** estudió teórica y experimentalmente las dimensiones más adecuadas para la máquina, determinando que los cilindros debían ser de mayor longitud y las calderas más grandes y en 1774 construyó, en Long Benton, la primera máquina mejorada de acuerdo a sus estudios.

Si bien la máquina de **Newcomen** (Figura 1.98) se utilizó extensivamente en los distritos mineros de Inglaterra y se exportó a otros países europeos, **el elevado consumo de combustible** que requería su funcionamiento dificultó su aplicación en otras actividades industriales. El elevado consumo de combustible se debía a que cuando el vapor, dentro del cilindro, elevaba al máximo el pistón que movía el brazo de la bomba, se inyectaba agua fría directamente dentro del cilindro con lo que el vapor condensaba y se producía un vacío que hacía bajar nuevamente el brazo de la bomba. Esto producía un gran enfriamiento del cilindro que debía ser calentado nuevamente en el ciclo siguiente, lo que requería un mayor consumo de combustible. De todas maneras, la máquina de **Newcomen** fue el gran antecedente para que, en 1763, **James Watt** desarrollara una máquina más eficiente y económica (Figuras 1.99 y 1.100). A pesar de sus inconvenientes, la máquina de **Newcomen** se seguiría construyendo y utilizando aún después de la invención de **James Watt**.

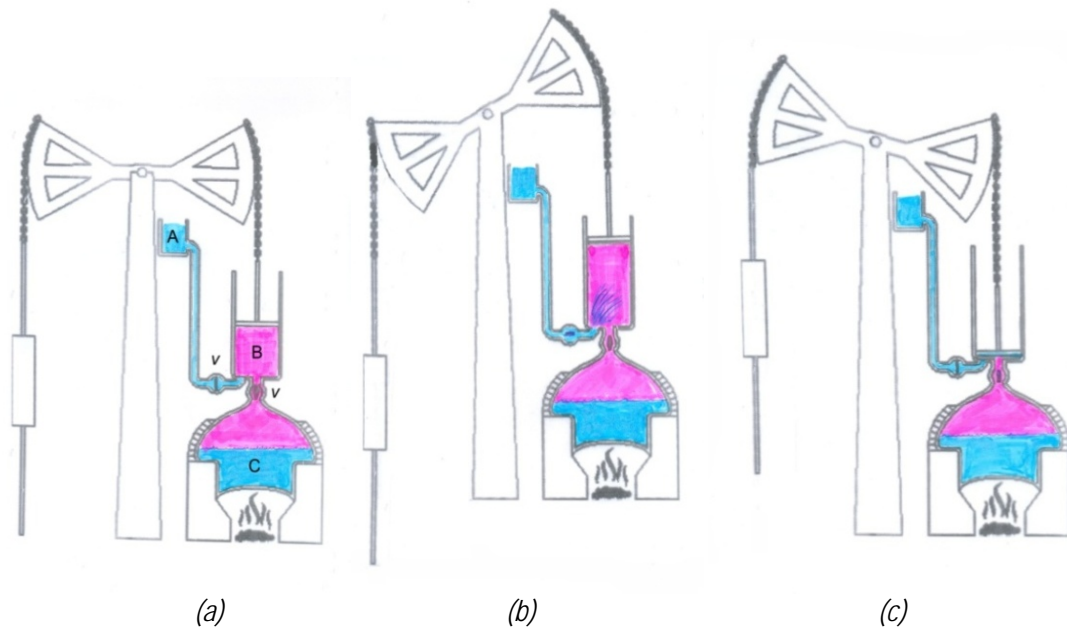


Figura 1.98- MÁQUINA DE THOMAS NEWCOMEN

El funcionamiento de las máquinas de Savery y Newcomen era similar: ambas creaban el vacío en un depósito a base de enfriar vapor de agua. Pero, en la máquina de Savery era el propio vacío del depósito el que elevaba el agua del fondo de la mina, mientras que en la máquina de Newcomen el vacío que se creaba en el cilindro **B** hacía que **la presión atmosférica** empujase el pistón hacia abajo tirando del balancín, el que a su vez tiraba de la barra con contrapeso hacia arriba.

Al llenarse nuevamente el cilindro con vapor producido en la caldera **C**, el pistón subía, el balancín era empujado hacia arriba y la barra con contrapeso bajaba. Cuando el pistón dentro del cilindro, empujado por el vapor, llegaba al final de su recorrido se inyectaba agua fría desde **A** directamente dentro del cilindro con lo que el vapor condensaba y se producía vacío. En consecuencia el pistón bajaba y el ciclo se repetía. Las válvulas de retención se abrían o cerraban alternativamente, dejando pasar agua o vapor según el caso.

Este movimiento de vaivén del balancín y de la barra con contrapeso accionaba una bomba alternativa que extraía agua del fondo de las minas. Se conseguían hasta 10 o 12 golpes por minuto. De esta manera conseguía accionar el brazo de la bomba de achique a distancia, sin colocar la máquina en el interior de la mina y sin usar grandes presiones, reduciendo el riesgo de explosiones en la mina. El calentamiento y enfriamiento sucesivo del cilindro **C** no solo producía roturas sino que además representaba una importante pérdida energética que hacía que el rendimiento de la máquina fuera bajo.

11.1.4 - LA MÁQUINA A VAPOR DE JAMES WATT, 1736-1819

Pocos años después de que **Smeaton** presentara las mejoras de la máquina de **Newcomen**, un ingeniero escocés de nombre **James Watt** presentó una serie de mejoras todavía más revolucionarias, al idear que el vapor condensara en una cámara diferente a la del pistón y que el pistón fuera empujado por el vapor **tanto en sentido ascendente como descendente**. Con estas mejoras, la eficacia y rendimiento de la máquina mejoró notablemente, pues ahora el cilindro del pistón **se mantenía siempre caliente**, reduciendo el consumo de carbón.

Otra gran mejora que introdujo **James Watt** - y que supuso la consagración de la máquina de vapor como motor térmico - fue una adaptación mecánica que permitió que el movimiento vertical, provocado por el ascenso y descenso del pistón, se convirtiera, por medio de una **biela**, de movimiento rectilíneo en movimiento circular (ver Figuras 1.99 y 1.100). Este movimiento circular transmitido por un eje, podía a su vez, a través de poleas o engranajes, poner en movimiento otras máquinas ubicadas a cierta distancia de la máquina a vapor. Nunca antes el hombre había contado con una máquina que le suministrara energía en forma confiable, sin recurrir a su propia fuerza ni a la de los animales.

Fue así que en **1774** con la ayuda financiera de **Matthew Boulton**, un fabricante de Birmingham, la máquina de **James Watt** comenzó a difundirse y a encontrar aplicaciones diferentes a la simple elevación o bombeo de agua. En poco tiempo las máquinas de hilar y los telares mecánicos, recientemente inventados, comenzarían a ser movidos por la energía del vapor generado en las calderas de las nuevas unidades productivas o "**fábricas**". La primera hilandería textil que utilizó vapor para mover sus máquinas se instaló en **1785**, en Popplewick, Nottinghamshire. Pronto le seguirían otras hilanderías y tejedurías.

Hacia **1800** la máquina a vapor era ya un producto comercial y la firma Watt & Boulton tenía, debido a las patentes y a su habilidad comercial, casi el monopolio en toda Europa. El precio era fijado según la cantidad de caballos que podía remplazar, de donde salió luego el término *horsepower*. El constante perfeccionamiento de estos motores, dio lugar a que en **1807 Robert Fulton** y en **1814 George Stephenson** presentaran los primeros barcos y locomotoras a vapor, lo que permitió un desarrollo revolucionario del transporte mediante vehículos autopropulsados dando lugar a los mayores emprendimientos comerciales del siglo XIX.

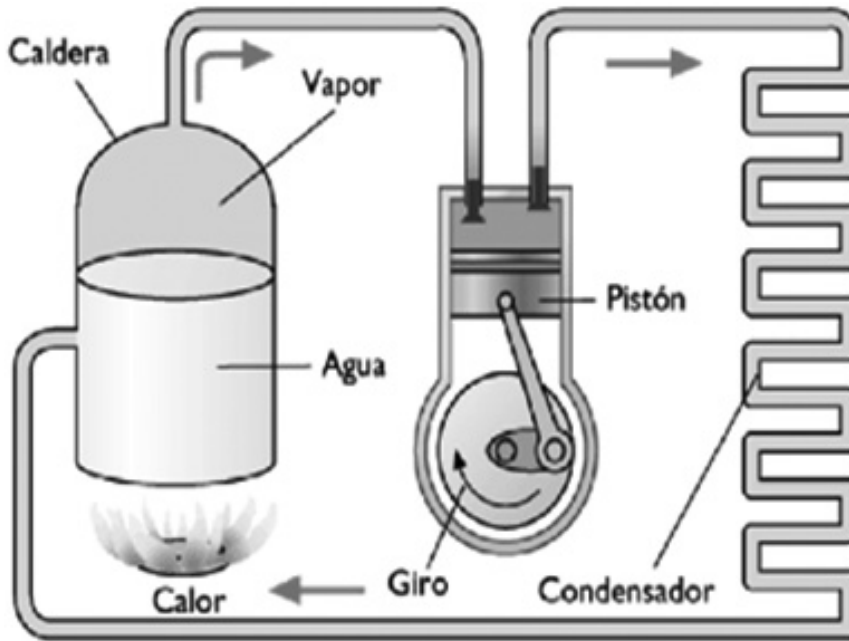


Figura 1.99

ESQUEMAS DE LA MÁQUINA DE VAPOR DE JAMES WATT.

En 1784, James Watt inventa la biela y el cigüeñal para transformar el vaivén de un pistón en un movimiento circular.

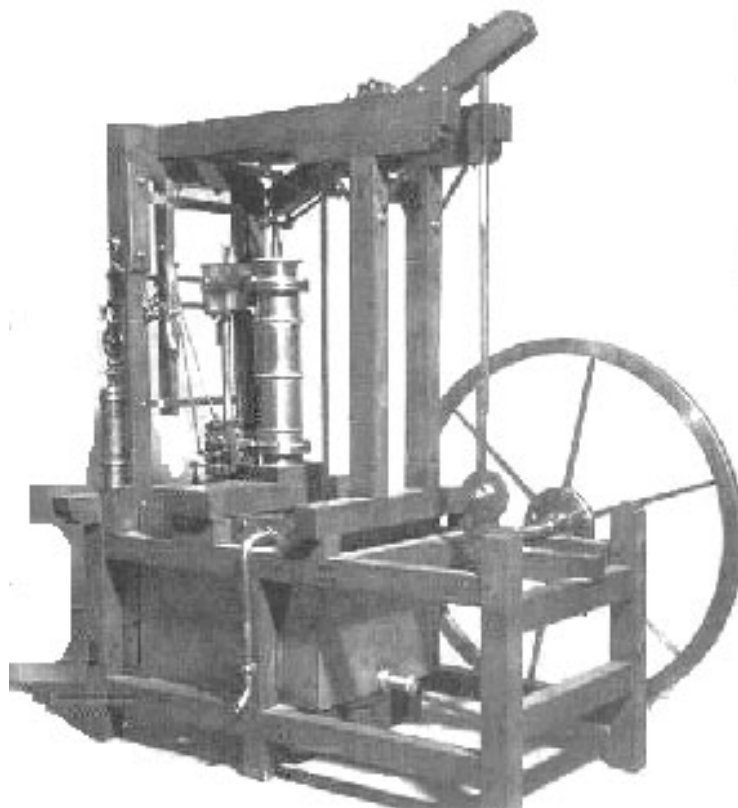


Figura 1.100

Máquina de James Watt modificada para la transmisión del movimiento giratorio

12.0.0- BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Evolución", Scientific American, Ed. Labor, Barcelona, 1979
- 2- "Introducción a la Antropología General", Marvin Harris, Alianza Editorial, Madrid, 1981.
- 3- "Una Historia Inacabada del Mundo"(L 2, c.5; L.4, c.1), Hugh Thomas, Grijalbo, 2001
- 4- "A History of Technology". Edited by Charles Singer, E.J.Holmyard and A.R.All, Oxford at the Clarendon Press, London, 1954.
- 5- "The History of Invention". Trevor I.Williams. McDonald & Co. (Publ.)Ltd., London,1987
- 6- "The Age of Manufactures 1700 – 1820", Berg, Maxine, (Routledge, 1994)
- 7- "The Silk Industry of the UK", Warner, F, (1921)
- 8- "The Loom and the Spindle: Past, Present and Future". Luther Hooper. Annual Report Smithsonian Institution, Washington,1914.
- 9- "Looms and Weaving", Anna Benson and Neil Warburton, Shire Publications Ltd., UK
- 10- "Women's Work. The First 20000 Years", Elizabeth Wayland Barber, W.N.Norton and Co., New York, 1994
- 11- "Textile in Biblical Times", CIBA Review.1968/2, CIBA Ltd., Basilea, 1968
- 12- "William Lee and his Knitting Machine", R.L.Hills, J.Text.Inst., 1989, 80, No. 2
- 13- "James Watt and the History of Steam Power", B.Taylor, Macmillan, London, 1957
- 14- "The Industrial Revolution", I.S.Ashton, Oxford University Press, London, 1948
- 15- "The Evolution of Mills and Factories". CIBA Review, 1968/1. CIBA Ltd., Basilea, 1968
- 16- "Las Claves de la Revolución Industrial". Siro Villas Tinoco. Ed. Planeta, Barcelona, 1990
- 17- "La Guerra Secreta por el Algodón", Anton Zischka, Ed. Claridad, Bs.As.,1940, No.2
- 18- "The Folk Art of Latin America", Marion Oettlinger, Dutton Studio, Books, N.Y. 1992
- 19- "Eli Whitney Cotton Gin", The Bettmann Archive.
- 20- "The Textile Arts", Verla Birrel. Harper and Row Publishers, N.Y., USA, 1959
- 21- "Manual de Calidad". A. Blanton Godfrey, Joseph M. Juran, Mcgraw-Hill, 2001
- 22- "Armas, Gérmenes y Acero". Jared Diamond. DeBolsillo, 2010

13.0.0- ALGUNOS MUSEOS QUE MERECE SER VISITADOS

- 1- "Museum of the Lancashire Textile Industry", Helmshore, Nr. Haslingden, UK.
- 2- "Quarry Bank Mill", Styal, Cheshire, UK.
- 3- "Trefriw Woollen Mills", Gwynedd, UK.
- 4- "Ulster Museum", Belfast, Northern Ireland.
- 5- "Paisley Museum Art Gallery, Kelvingrove Park, Glasgow, UK.
- 6- "Derby Industrial Museum, Derby, U.K.
- 7- "Musée Textile", Lyon, Francia
- 8- "Museo Tecnológico", Munich, Alemania.
- 9- "Musée National du Lin", Kortrijk, Bélgica.
- 10- "Smithsonian Institution", Washington, D.C., USA.
- 11- "Museum of American Textile History", Massachusetts, USA.
- 12- Museo Textil de Terrassa, Terrassa (Barcelona), España.

CAPITULO II

FIBRAS TEXTILES



Imagen reproducida por cortesía de la "American Fiber Manufacturers Association"

CONTENIDO**PÁGINA**

1. 0. 0- INTRODUCCIÓN.....	2
2. 0. 0- PROPIEDADES MORFOLÓGICAS.....	14
2. 1. 0- El diámetro aparente de las fibras.....	14
2. 2. 0- Equipos para la medición del diámetro aparente de las fibras textiles.....	19
2. 3. 0- La "densidad lineal" de una fibra.....	22
2. 4. 0- Microfibras y microfilamentos.....	24
2. 5. 0- La medición de la longitud de las fibras textiles.....	28
2. 6. 0- El rizo de las fibras textiles.....	43
2. 7. 0- La forma de la sección de las fibras textiles.....	43
2. 8. 0- La rugosidad superficial de las fibras textiles.....	43
3. 0. 0- COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA QUÍMICA.....	45
3. 1. 0- Las moléculas poliméricas.....	45
3. 2. 0- Atributos de los conjuntos de moléculas poliméricas.....	48
3. 3. 0- Polímeros termoplásticos y termofraguantes.....	56
3. 4. 0- Polimerización por adición y por condensación.....	56
3. 5. 0- Temperaturas de transición.....	57
4. 0. 0- HIGROSCOPICIDAD.....	60
4. 1. 0- La absorción de humedad y las temperaturas de transición.....	62
4. 2. 0- La absorción de humedad de las fibras textiles es exotérmica.....	63
4. 3. 0- El confort de los artículos de lana.....	66
4. 4. 0- Super Absorbentes.....	66
5. 0. 0- PROPIEDADES MECÁNICAS.....	68
5. 1. 0- Deformación de cuerpo elástico.....	68
5. 2. 0- El Diagrama esfuerzo/ deformación (Γ vs. ϵ).....	69
5. 3. 0- Comportamiento elástico y plástico.....	70
5. 4. 0- El Diagrama esfuerzo/ deformación de las fibras textiles.....	71
5. 5. 0- Diagramas de fuerza y extensión vs. tiempo.....	76
6. 0. 0- PROPIEDADES ELÉCTRICAS.....	78
7. 0. 0- PROPIEDADES TÉRMICAS.....	79
8. 0. 0- ALGODÓN.....	81
9. 0. 0- LINO.....	87
10.0.0- OTRAS FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL.....	89
11.0.0- LANA.....	99
12.0.0- SEDA.....	111
13.0.0- OTRAS FIBRAS DE ORIGEN ANIMAL.....	118
14.0.0- FIBRAS MINERALES.....	128
15.0.0- FIBRAS ARTIFICIALES.....	129
16.0.0- FIBRAS SINTÉTICAS.....	135
17.0.0- FIBRAS SINTÉTICAS DE ALTAS PRESTACIONES.....	143
18.0.0- FIBRAS NATURALES VS. FIBRAS QUÍMICAS.....	151
19.0.0- LA MEZCLA ALGODÓN / POLIÉSTER.....	153
20.0.0- RECONOCIMIENTO DE FIBRAS.....	159

1.0.0- INTRODUCCIÓN

Podemos definir a un *"textil"* como un artículo hecho de *fibras textiles*, ya sean estas naturales, artificiales y/o sintéticas. De acuerdo a esta definición, los hilados, los hilos, las mechas, las cuerdas y las telas, así como todos los artículos hechos con ellos, serían entonces *"textiles"*.

Pero, ¿qué es una fibra? Una fibra es un cuerpo sólido, de forma aproximadamente cilíndrica, relativamente flexible, macroscópicamente homogéneo, con una muy alta relación de sus dimensiones longitudinales a sus dimensiones transversales y con una pequeña sección transversal cuyo diámetro aparente es del orden de los micrones.

Pero, una fibra textil, ¿qué es? Es toda fibra que pueda ser hilable. ¿Y qué significa que pueda ser hilable? Significa que, con otras fibras de la misma naturaleza, sea capaz de formar un conjunto en el que todas se encuentren más o menos paralelizadas entre sí. Este conjunto, que generalmente recibe el nombre de "mecha" o "cinta", debe estar en condiciones de ser estirado y recibir torsión, sin perder cohesión, para que de esa manera se convierta en un hilado. Pero para ser hilables las fibras textiles deben tener - además de las características generales comunes a toda fibra, mencionadas arriba - una alta resistencia a la tracción y, especialmente en el caso de las fibras discontinuas (ver más adelante), un alto índice de fricción fibra / fibra.

En las fibras naturales, como p.ej. la lana y el algodón, la *rugosidad superficial* de sus cutículas externas asegura un alto *índice de fricción fibra/fibra*. En el caso de las fibras hechas por el hombre se logra rugosidad superficial dándole a sus secciones transversales formas diferentes a la de un círculo perfecto (ver 1.2.0).

Por otra parte, la *resistencia a la tracción* de las fibras textiles es consecuencia de que todas ellas están constituidas por *polímeros lineales de muy alto peso molecular* (ver Sección 230, "Estructura Química"). Si la fibra no posee estas dos propiedades fundamentales, *resistencia a la tracción* y *rugosidad superficial*, no será apta para calificar como *"fibra textil"* y no podrá formar parte de un hilado textil¹.

Entonces, con fibras textiles *paralelizadas* entre sí podemos formar una *"mecha"* y luego - *si se trata de fibras discontinuas* - *estirando* esa *mecha* e *insertándole torsión*, obtendremos *"hilados"* (de diferentes tipos, finos y gruesos, con más o menos torsión, etc.) que, luego, debemos *bobinar*. El *paralelizado*, el *estirado*, la *inserción de torsión* y el *bobinado* son, entonces, *las cuatro operaciones básicas de la hilatura de fibras discontinuas* (ver en 1.1.0 la diferencia entre fibras discontinuas y fibras continuas o filamentos).

Reuniendo varios *"hilados"* e insertándoles *retorsión* obtendremos un *"hilo"*. Entrelazando hilados y/o hilos obtenemos *"tejidos"* que, de acuerdo al procedimiento de *tejeduría* que utilicemos, serán *"tejidos planos"* o *"de punto"*. Y con *fibras, hilados, hilos y tejidos* se elabora toda la vasta variedad de artículos textiles. En las *Tablas 2.1 y 2.2* se muestra, en forma general y resumida, la diversidad de artículos textiles que existen actualmente.

¹Por ejemplo, las soluciones concentradas de azúcar pueden formar, al enfriarse, fibras continuas o filamentos que enredadas en un palito forman una golosina infantil, el "algodón de azúcar". Esos filamentos o fibras continuas, aunque pegajosos entre sí, no tienen prácticamente ninguna resistencia a la tracción (ni al agua) y no son adecuadas para un uso textil.

TABLA 2.1

ARTÍCULO TEXTIL (En orden de complejidad creciente)	CARACTERÍSTICAS
FIBRAS	Naturales, artificiales y sintéticas. Continuas y discontinuas
HILADOS	De diferentes títulos, torsiones / metro, S ó Z, regularidad, etc..
HILOS	De diferentes títulos, uno o más cabos, retorsiones / metro (S ó Z)
TEJIDOS	Planos, de punto y "no tejidos" (guatas), teñidos, estampados, etc.
ART. CONFECCIONADO	Vestimenta, artículos para el hogar, industria, etc.

TABLA 2.2

MERCADO	%	TIPO DE ARTÍCULO
VESTIMENTA	47	Prendas de todo tipo, sombreros, hilo de coser, etc., etc.
HOGAR	32	Ropa de cama, cortinas, tapicería, toldos, alfombras (15%), etc.
SALUD	4	Apósitos, vendas, prendas descartables, etc.
TRANSPORTE	4	Neumáticos, tapicería, velas marineras, lonas protectoras, etc.
CONSTRUCCIÓN	4	Techos livianos, geotextiles, etc.
INDUSTRIA	9	Telas para filtros, mangueras, cintas transportadoras, cordeles, etc.

1.1.0- Fibras textiles naturales

La tecnología textil se origina en el *Neolítico*, que comienza aproximadamente, y dependiendo de la región, 5000 a 10.000 años A.C. Al comienzo del *Neolítico* algunos grupos humanos se hacen sedentarios y aprenden a domesticar plantas y animales. De la fabricación de cordeles deriva la hilandería; de la técnica de hacer cestos o cestería deriva la tejeduría plana, y en la elaboración de redes de pesca está el germen de la tejeduría de punto (ver Capítulo I, "Origen y Evolución de la Tecnología Textil").

Desde ese entonces el hombre utiliza fibras textiles *naturales*, de origen vegetal o animal, para elaborar su vestimenta y para otros diversos usos. Entre ellas se destacan **cuatro** de importancia fundamental: el **algodón**, el **lino**, la **lana** y la **seda** (ver Figuras 2.1 a 2.4 y Secciones 281 y siguientes de este Capítulo). Las tres primeras son fibras llamadas "*cortas*" o "*discontinuas*", por comparación con la longitud de la *seda* (ver Tabla 2.3), que es un *filamento* o "*fibra continua*" obtenido de capullos de diferentes tipos de gusanos de seda. De las cuatro, el *algodón* es la de mayor consumo, mientras que las otras tres, si bien son muy apreciadas, participan en el mercado mundial en un menor volumen relativo.

FIBRAS TEXTILES NATURALES



Figura 2.1
ALGODÓN



Figura 2.2
LINO



Figura 3.3
LANA



Figura 2.4
SEDA

TABLA 2.3 - DIMENSIONES DE ALGUNAS FIBRAS NATURALES

FIBRA	LARGO mm (*)	DIÁMETRO APARENTE micras (*)	LARGO / DIÁMETRO aparente	TIPO DE FIBRA
SEDA	5×10^5	3-20	$2,5 \times 10^7 - 1,6 \times 10^8$	continua
LANA	25-250	15-35	$1,7-7 \times 10^3$	discontinua
ALGODÓN	25-50	12-21	$1-4 \times 10^3$	discontinua
LINO	9-70	5-35	$0,25-14,0 \times 10^3$	discontinua

(*) Valores típicos. Las dimensiones de las fibras están sujetas a variación dentro de un entorno característico para cada tipo de fibra. Comparando fibras naturales de un mismo tipo entre sí, los largos y secciones no son constantes. Para una misma fibra la sección tampoco es constante, variando de extremo a extremo. Las dimensiones de las fibras hechas por el hombre tienen, en cambio, menor variación que las naturales.

1.2.0- Fibras textiles artificiales y sintéticas

Alrededor de 1860, como consecuencia de la escasez de algodón que se produce en Europa debido a la "Guerra de Secesión" americana, se aceleran los esfuerzos por desarrollar **fibras artificiales** a partir de un **polímero natural**, la *celulosa de madera*, que en aquel momento era una materia prima relativamente barata y abundante. Es entonces que en los años siguientes, aparecen en el mercado las **fibras artificiales** conocidas como "*rayón cupro*", "*rayón acetato*" y "*rayón viscosa*".

Casi ochenta años después, a partir de 1939, comienzan a aparecer otras fibras hechas por el hombre: las **fibras sintéticas**, obtenidas a partir de **monómeros**, constituidos por moléculas relativamente sencillas en general obtenidas a partir del **petróleo**. Así aparecen las fibras **poliamidas**, las **poliestéricas**, las **acrílicas**, las **olefínicas**, las **poliuretánicas**, etc. A este conjunto de fibras artificiales y sintéticas se les llama "**fibras químicas**" o "**hechas por el hombre**", por contraposición a las **fibras naturales**. (ver Capítulo I, "Origen y Evolución de la Tecnología Textil" y las Secciones 287 y 288 de este Capítulo). Actualmente la producción y la importancia de las **fibras sintéticas** es mayor que las de las **fibras artificiales**, pero esto puede cambiar en el futuro, en función del **precio y disponibilidad del petróleo**.

En general, las **fibras químicas** se producen por: **1)** extrusión del **polímero** en estado de masa viscosa – *resultante esta masa de la fusión del polímero o de su disolución en solventes apropiados* - a través de los múltiples orificios de una "spinirette" y, **2)** solidificando los filamentos así obtenidos por cambio de solvente, por evaporación del solvente o por simple enfriamiento (ver Figura 2.5). En general, los filamentos son sometidos a un fuerte *estiramiento* en frío, de 300 a 1000 veces ("*cold drawing*"), para obtener una buena orientación molecular y un aumento de la resistencia a la tracción del filamento. Pueden también ser sometidos a: **1)** un *tratamiento térmico final* para estabilizar tensiones, **2)** un "*texturizado*" para insertarles rizo que a su vez confiera a los filamentos voluminosidad, elasticidad y tacto parecido al de las fibras naturales y finalmente, **3)** tratamientos con agentes químicos antiestáticos, suavizantes, lubricantes, etc.

La velocidad de producción de filamentos ha pasado en pocos años de 1000 m/minuto a más de 5000 m/minuto a la salida del "spinirette". Es interesante comparar estos valores con las velocidades de entrega de la hilatura convencional con fibras cortas y cortadas en continuas de anillo (R/S), del orden de los 25 m / minuto, y aún con los de la hilatura "open end" (O/E), con velocidades de entrega del orden de los 200 m /minuto (ver Capítulo 4, "Hilatura de Fibras Discontinuas").

TABLA 2.4 - ALGUNOS ARTÍCULOS ELABORADOS CON FIBRAS QUÍMICAS

FIBRA	ARTÍCULO	PROPIEDADES
POLIÉSTER	pantalones, faldas, trajes	resistencia al desgaste, fácil cuidado
	camisas, sábanas	buena "mano" y tacto
	cortinas	resistencia a la luz, fácil cuidado
POLIAMIDAS ("Nylon")	alfombras	durabilidad, cuerpo, fácil de estampar
	medias de dama	elasticidad, resistencia a la rotura
	refuerzos de neumáticos	tenacidad, durabilidad, adhesión
	equipos de lluvia	durabilidad, elasticidad, lustre
VISCOSA	lencería, forros	lustre, "mano"
	apósitos médicos y sanitarios	absorción de agua
	ropa interior	absorción, "comfort"
	refuerzos de neumáticos	tenacidad, durabilidad, adhesión
ACRÍLICA	tejidos de punto	textura, "cuerpo", variedad de colores,
	tapicería	fácil cuidado
	paños	textura, fácil cuidado, durabilidad
	alfombras	resistencia a la luz, textura, "cuerpo" resistencia, suavidad, durabilidad
POLIPROPILENO	alfombras	resistencia, durabilidad, lavabilidad
	cordeles	resistencia, bajo peso
	tapicería	resistencia mecánica y a la luz
	geotextiles	resistencia mecánica y química

1.3.0- Formas de presentación de las fibras artificiales y sintéticas

- * **FILAMENTO**: fibra cuya longitud se mide en decenas o cientos de metros (*fibra "continua"*).
- * **MULTIFILAMENTO**: hilado constituido por varios filamentos.
- * **CABLE** (*ingl. "tow"*): conjunto de aproximadamente $1,5 \times 10^6$ filamentos.
- * **FIBRA CORTADA** (*ingl. "staple"*): se obtienen cortando cable (*"tow"*) a longitudes que imitan las de las fibras naturales. El método de corte puede ser "*de cable a mecha peinada*" (*"tow to top"*) o por "*estirado y rotura*" (*"stretch breaking"*). En el primer caso se obtienen fibras cortadas y paralelizadas dispuestas en una mecha. En el segundo se obtienen las fibras a granel, por lo que deben empacarse en fardos. A la fibra cortada se les puede insertar "rizo" (*"crimp"*). Se utilizan solas o en mezcla con fibras naturales para producir hilados de fibras "discontinuas".
- * **MECHA** (*ingl. "top"*): conjunto de fibras "cortadas" y relativamente paralelizadas obtenidas por corte de "cable a mecha" (*"tow to top"*). Se pueden utilizar en la hilatura de **sistema peinado** para mezclar con mechas de fibras naturales.
- * **"FLOCK"**: fibras, artificiales o sintéticas, cortadas muy cortas, destinadas en general a ser pegadas en una tela soporte, para producir telas del tipo "terciopelo".
- * **HILADO TEXTURIZADO**: hilado de multifilamentos a los que se les insertó rizado artificial, con lo que adquieren similar extensibilidad, voluminosidad y tacto que los hilados de fibras naturales.

1.4.0- Hilados Texturizados

Debido a la variabilidad de su sección triangular y a sus muy especiales propiedades físicas, la **seda** - la más cara y lujosa de las fibras naturales - permite obtener hilados multifilamento que una vez tejidos dan como resultado telas de texturas sutiles y "manos" atractivas. Cuando a fines del siglo XIX comenzó la producción de **rayón viscosa** y de **rayón acetato**, sus hilados fueron comercializados y promovidos como "**seda artificial**" a pesar de que, salvo por su brillo y por ser

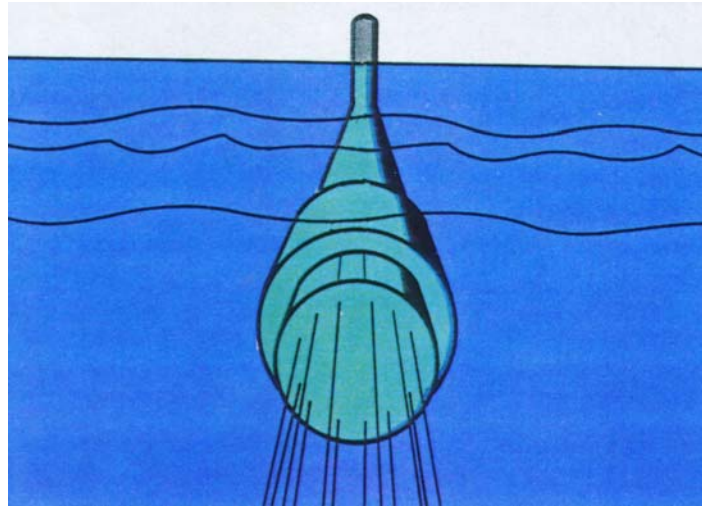
hilados multifilamento, no se le parecen en mucho más. Con estos hilados de filamentos artificiales y sintéticos se obtienen telas densas, carentes de la textura y de la "calidez" de las telas de seda y de las telas tejidas con hilados compuestos por fibras cortas naturales. Por ejemplo, las primeras telas tejidas con hilados multifilamento de nylon eran excelentes para confeccionar paracaídas, pero no para prendas como camisas de hombres, a pesar de que durante un tiempo se usaron también para ese fin.

La primer alternativa lógica fue entonces cortar estos filamentos continuos para hilarlos como fibras "cortadas", solas o mezcladas con fibras naturales. Pero esto era sin duda una alternativa cara: se debía cortar y desorganizar los filamentos para recomponer una mecha de fibras cortadas, que debía luego ser paralelizada, estirada y torsionada y así obtener un nuevo hilado. ¿No habría una manera de insertar rizo a los filamentos para hacer que tuvieran una "mano" similar al de los hilados hechos con fibras naturales?

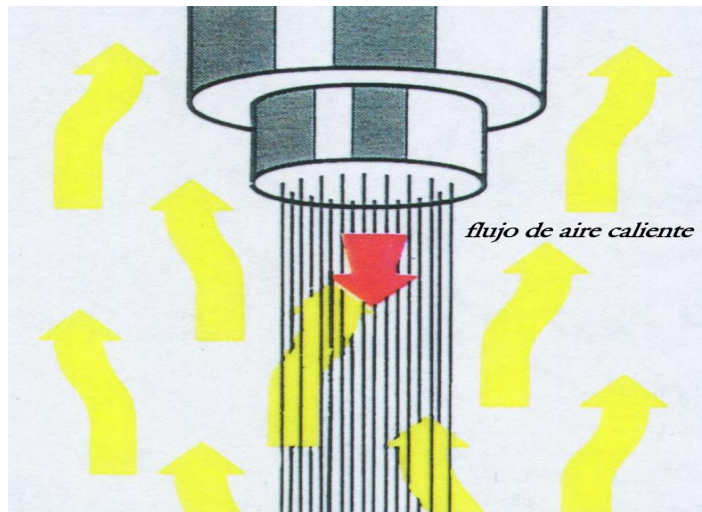
Celanese, en el periodo 1935 a 1940, desarrolló para los hilados multifilamento de acetato, un proceso de "**texturizado**" que consistía en **generar un rizado artificial en los filamentos por aplicación de falsa torsión y fijado térmico**. *Heberlein* desarrolló, en el mismo periodo, un proceso similar para el rayón viscosa. Sin embargo estos procesos no fueron muy exitosos, pues el rizado no era estable y se perdía fácilmente. Fue recién en la década de 1950-60 que se llega al éxito comercial del **texturizado** con el fijado permanente de los hilados multifilamento de nylon. A pesar de su alto precio, los hilados texturizados "*Helanca*" de *Heberlein* tuvieron gran éxito comercial porque tenían una **extensibilidad** del 400% lo que los hacía excelentes para la producción de calcetines de hombre, trajes de baño y prenda con propiedades elásticas.

Otro desarrollo posterior fue el de texturizar hilados con rizos de **gran volumen y mano suave**, pero de relativa poca elasticidad, para elaborar prendas no elásticas o para prendas que, por el tipo de ligamento de la tela, ya son elásticas de por sí como los tejidos de punto. Los hilados poliéster "*Crimplene*" de *ICI* tenían estas características y fueron extraordinariamente exitosos. A partir de esos orígenes los desarrollos de nuevas tecnologías han continuado mejorando procesos y costos. Los hilados texturizados son hoy muy utilizados en la industria textil y existen diferentes métodos para el texturizado de hilados multifilamento. En la *Figura 2.6* se esquematizan alguno de ellos.

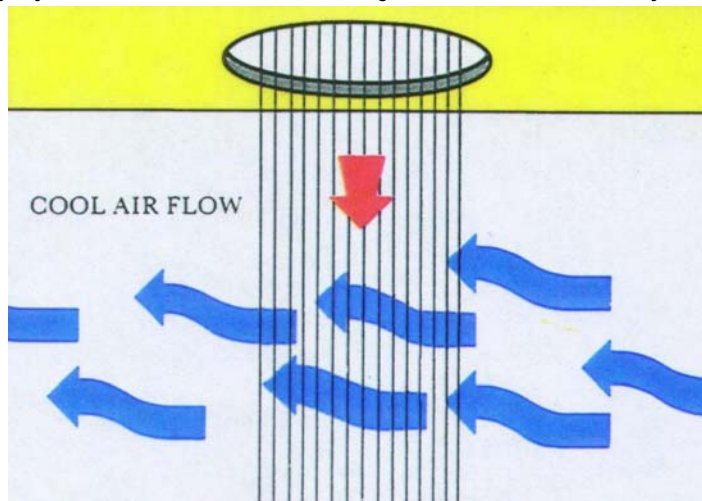
MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FILAMENTOS ARTIFICIALES Y SINTÉTICOS



HÚMEDO: el polímero en solución coagula y solidifica por cambio de solvente
(Ej. rayon viscosa, rayon cupro, algunas acrílicas, modacrílicas y elastano)



SECO: el polímero en solución solidifica por evaporación de solvente
(Ej. rayon acetato, triacetato, clorofibras, algunas acrílicas, modacrílicas y elastano)



FUSIÓN Y SOLIDIFICACIÓN: el polímero fundido solidifica por enfriamiento
(Ej. poliamidas, poliéster, polietileno, polipropileno)

Figura 2.5 (reproducida con la autorización de la "British Man-Made Fibers Federation")

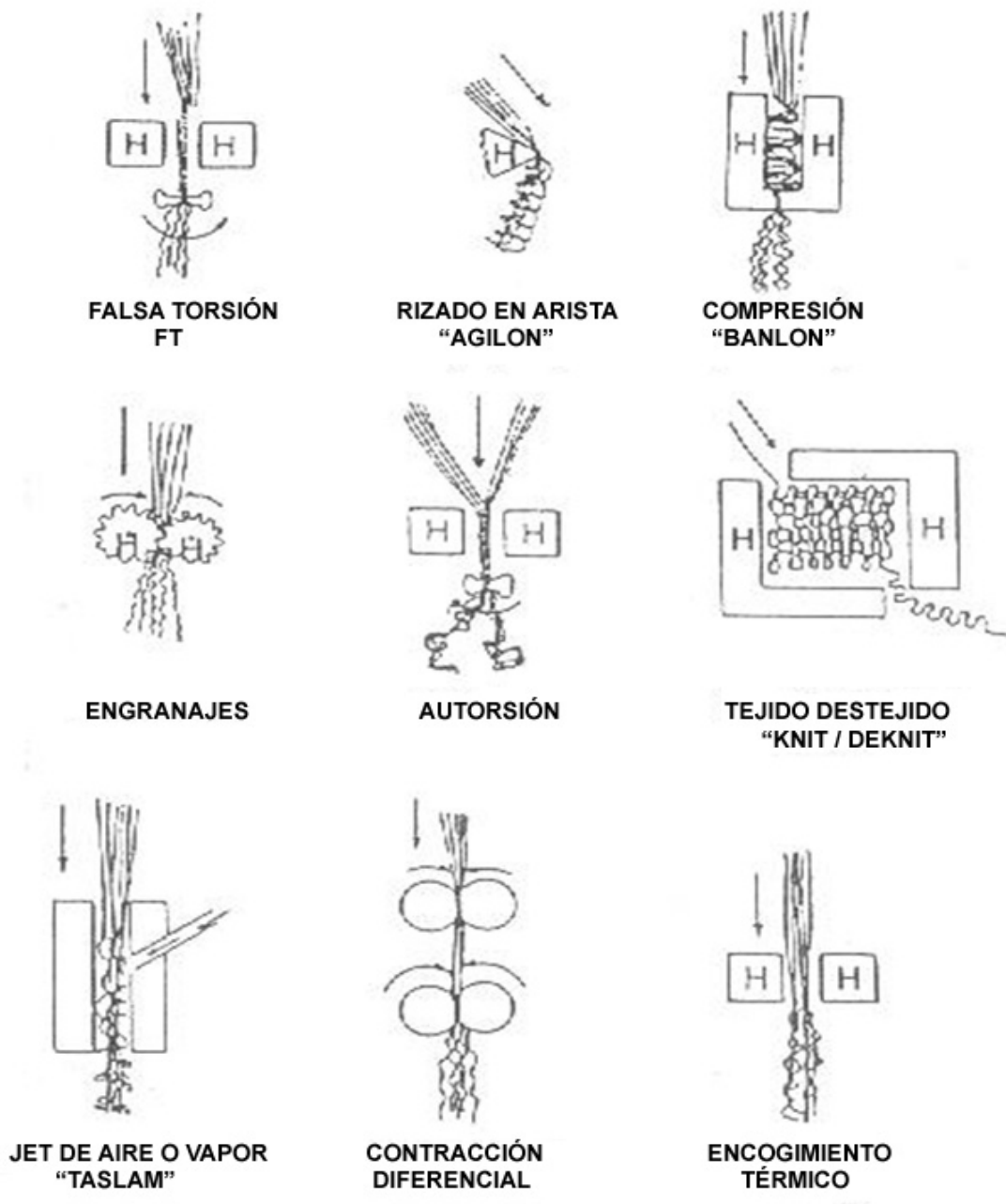


Figura 2.6
DISTINTAS TÉCNICAS DE TEXTURIZADO
 LAS ZONAS DE CALENTAMIENTO ESTÁN SEÑALADAS CON UNA H
(Figuras tomadas de "Fibras Textiles", Dr. Joaquín Gacén Guillén)

TABLA 2.5 - CLASIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES FIBRAS TEXTILES

NATURALES	VEGETALES	semillas	Algodón, Kapok
		fruto	Coco, Ananá
		tallo	Lino, Yute, Cañamo, Ramio, Kenaf
		hoja	Sisal, Manila, Heneguén, Formio, Rafia, etc.
	ANIMALES	fibras y pelos	Lana, Alpaca, Mohair, Vicuña, Camello, etc.
		exudado de larva	Seda
MINERALES	silicatos	Amianto	
QUÍMICAS o hechas por el Hombre	ARTIFICIALES	pulpa de madera	Rayón Viscosa
		pulpa de madera	Rayón Diacetato y Triacetato
	SINTÉTICAS	petróleo	Poliamidas (<i>Nylon</i>) (<i>Antron</i> , <i>Rilsan</i> , etc.)
		petróleo	Poliésteres (<i>Tergal</i> , <i>Dacron</i> , <i>Terylene</i> , etc.)
		petróleo	Poliacrilonitrílicas (<i>Orlon</i> , <i>Dralon</i> , <i>Teklan</i> , etc.)
		petróleo	Polioléfinicas (<i>Trofil</i> , <i>Meraklon</i> , etc.)
		petróleo	Poliuretánicas (<i>Lycra</i> , <i>Dorlastan</i> , <i>Glospan</i>)
		petróleo	Aramídicas (<i>Nomex</i> , <i>Kevlar</i> , <i>Kermel</i> , <i>Twaron</i>)
		petróleo	Cloradas (<i>Rhovil</i> , <i>Clevyl</i> , etc.)
	INORGÁNICAS	silicatos	Lana de vidrio
		metales	Hilos metálicos
otros		Fibras de carbono	

TABLA 2.6 - MEZCLA DE FIBRAS**Aporte que cada fibra haría a las propiedades finales de una mezcla**

(tomado de J.Smithes, Journal of Textile Institute, 50, pág. 598, 1959, menos la columna correspondiente al algodón)

	ALGODÓN	LANA	PES	ACRÍLICA	POLIAMIDA	VISCOSA	ACETATO
<i>Suavidad y "mano"</i>	1	1	3 (*)	2	3 (*)	3	2
<i>Voluminosidad</i>	2	2	3	1	3	3	3
<i>Recuperación al arrugado (65% HR)</i>	4	1	1	2	3	3	2
<i>Recuperación al arrugado (95% HR)</i>	4	3	1	3	3	4	3
<i>Estabilidad al plisado (65% HR)</i>	3 (*)	2	1	1	2	3	3
<i>Estabilidad al plisado en húmedo</i>	4 (*)	4	1	1	4	4	4
<i>Resistencia al encogido</i>	4	4 (*)	1	1	1	4	1
<i>Resistencia al rasgado</i>	3	3	1	3	1	3	3
<i>Resistencia a la abrasión</i>	3	2	1	3	1	3	4
<i>Resistencia a la electricidad estática</i>	1	2	4	3	3	1	3
<i>Resistencia a la fusión</i>	1	1	3	2	2	1	3

1 = excelente, 2 = bueno, 3 = regular, 4 = pobre

(*)Existen tratamientos antiarrugas para el algodón y antiáfeltrantes para la lana que mejoran la performance

(*) Para las microfibras estos valores son más altos



Figura 2.7 - PRODUCCIÓN DE FILAMENTOS

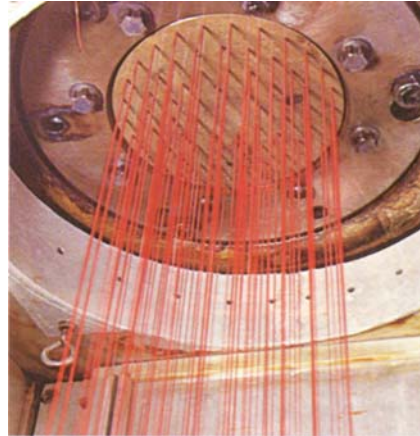


Figura 2.8 - "SPINIRETTE"

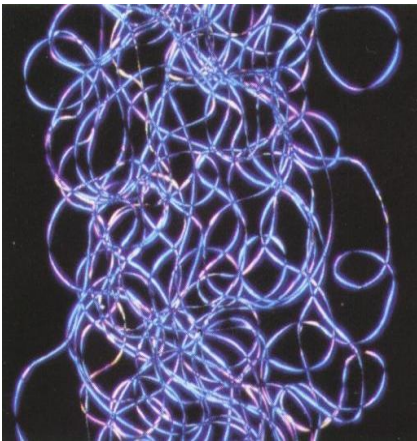


Figura 2.9

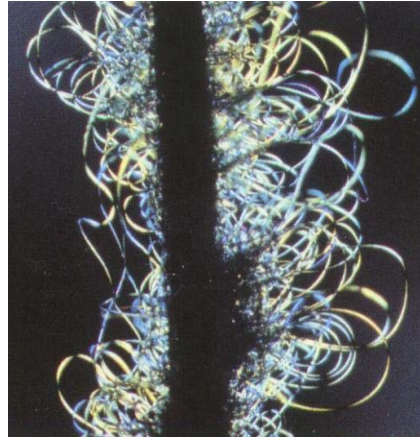


Figura 2.10

MULTIFILAMENTOS TEXTURIZADOS

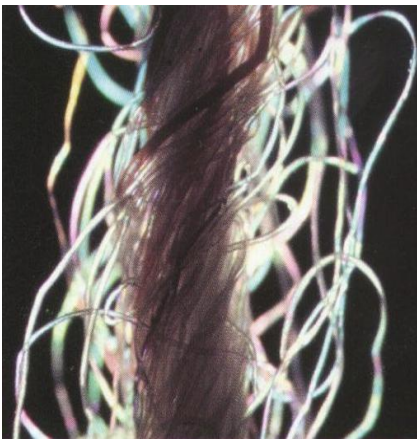


Figura 2.11

HILADO DE MULTIFILAMENTOS



Figura 2.12

HILADOS ARTIFICIALES Y SINTÉTICOS

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FIBRAS TEXTILES

millones de toneladas

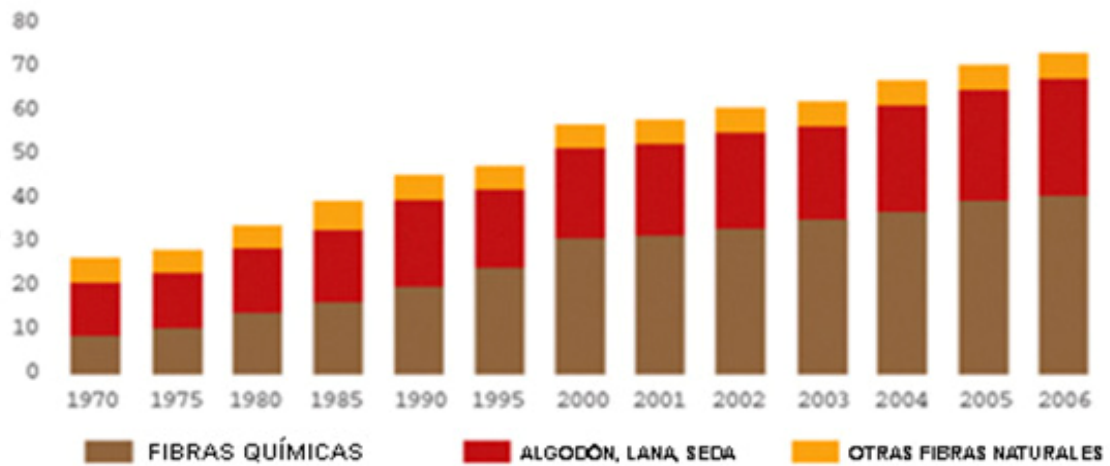


Figura 2.13

Según estimaciones, el consumo mundial de fibras textiles crecerá a una tasa del 2,8% hasta alcanzar 87 millones de toneladas en 2020. Se prevé un crecimiento del consumo mundial de algodón a una tasa media anual del 2% hasta alcanzar 32 millones de toneladas en 2020. De acuerdo con las previsiones, la parte correspondiente al algodón en el mercado mundial de fibras textiles tenderá a la baja hasta situarse en el 37% en 2020.

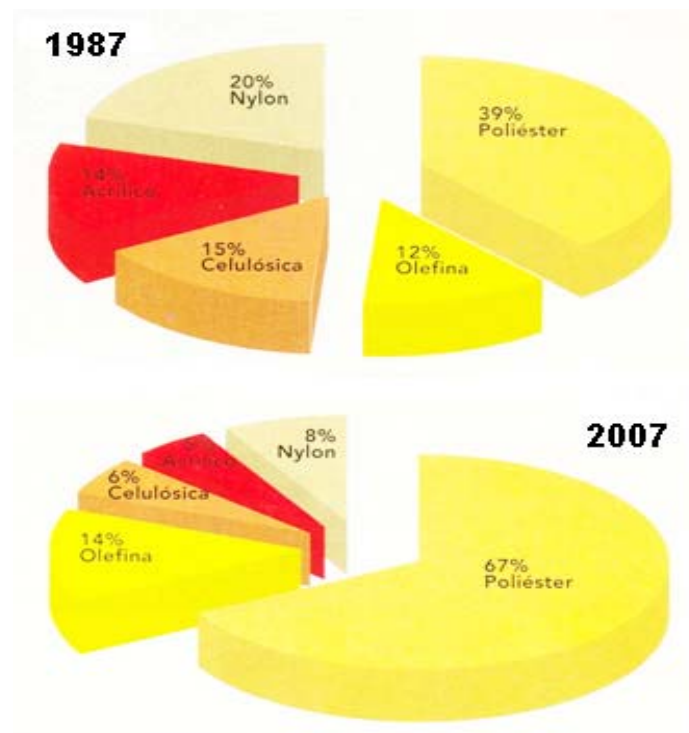


Figura 2.14 - PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FIBRAS QUÍMICAS (Fuente. "Fiber Economics Bureau")
Los datos de esta gráfica muestran la tendencia de crecimiento de la demanda y de la producción de poliéster en relación a las demás fibras químicas.

TABLA 2.9 - PESO ESPECÍFICO DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES
(para las fibras químicas los valores son aproximadamente promedios de varias marcas comerciales)

	<i>g/cm³</i>
ACRÍLICO	1,14 - 1,18
MODACRÍLICA	1,25 - 1,40
ALGODÓN	1,54
ARAMÍDICA	1,38
CARBONO	1,75
CLORURO DE POLIVINILO	1,38
CLORURO DE POLIVINILIDENO	1,70
DIACETATO DE CELULOSA	1,32
ELASTANO (p.ej. LICRA)	1,10
FLUOROFIBRA	2,1 - 2,3
LANA	1,32
POLIAMIDA "(Nylon" 6 y 66)	1,14
POLIÉSTER	1,22 - 1,38
POLIETILENO baja densidad	0,92
POLIETILENO alta densidad	0,95
POLIPROPILENO	0,90
POLIURETANO	1,10 - 1,21
SEDA	1,37
VIDRIO	2,45 - 2,53
VIDRIO	2,54
VISCOSA	1,51
TRIACETATO DE CELULOSA	1,25

TABLA 2.10 - CARACTERÍSTICAS de las FIBRAS TEXTILES

CARACTERÍSTICAS	PRIMARIAS	SECUNDARIAS
<i>MORFOLÓGICAS MACROSCÓPICAS</i>	DIÁMETRO APARENTE (" <i>Finura</i> ") y su CV%	ÁREA TOTAL
	LARGO y su CV%	
	FORMA DE LA SECCIÓN	TACTO y LUSTRE
	RIZO	
	RUGOSIDAD SUPERFICIAL	
<i>MORFOLÓGICAS MICROSCÓPICAS</i>	<i>Presencia de cutículas, fibrillas, microfibrillas, etc. como ocurre en el caso del algodón, la lana y otras fibras naturales</i>	Resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, tenacidad, elongación a la rotura, rigidez, recuperación elástica, densidad, conductividad eléctrica y térmica, higroscopicidad, reactividad química, afinidad por los colorantes, inflamabilidad, resistencia al ataque de insectos y microorganismos, etc.,etc.
<i>QUÍMICO FÍSICAS</i>	COMPOSICIÓN QUÍMICA	
	GRUPOS FUNCIONALES	
	PESO MOLECULAR	
	CRISTALINIDAD	

BIBLIOGRAFÍA

- 1- *"Man-made Fibres"*, R.W.Moncrieff, Jhon Wiley & Sons, Inc. 1957
- 2- *"Man-made Fibers"*, H.Marks, S.M. Atlas, E.Cernia, Interscience Publ., New York, 1967
- 3- *"Handbook of Fiber Science and Technology"*, M. Lewin, E. M. Pearce. M. Dekker, Inc., N.Y 1985
- 4- *"Introducción a los Textiles"*, N. Hollen, J. Saddler, A.L. Langford. Ed. Limusa, México, 1990
- 5- *"Man-made Fibers Encyclopedia"*, J.J. Press Interscience Publishers, N.York
- 6- *"Yarn Texturing Technology"*, J.W.S.Hearle, L.Hollick, D.K.Wilson, Woodhead Publ.Ltd., England

2.0.0- PROPIEDADES MORFOLÓGICAS

2.1.0- El diámetro aparente de las fibras

En general, todas las fibras tienen una **sección real** (S_R) que está muy lejos de ser un círculo perfecto. Se puede, sin embargo, considerar una **sección circular equivalente** ($S_{eq} = S_R$), a la que correspondería un **diámetro aparente** (Φ_{ap}), que se puede calcular teniendo en cuenta que:

$$\text{Peso de la fibra} = \text{Área de la sección de la fibra} \times \text{largo de la fibra} \times \text{densidad de la fibra}$$

$$\text{Área de la sección} = (\pi \cdot \Phi_{ap}^2)/4$$

En las **fibras textiles naturales** las dimensiones del **diámetro aparente** y del **largo** tienen grandes variaciones. Aún con fibras de igual tipo u origen se observan grandes variaciones (*entre distintas fibras y a lo largo de una misma fibra*). Se debe, por tanto, considerar valores medios y sus coeficientes de variación (CV%). En las **fibras químicas**, hechas por el hombre, el **diámetro aparente** y el **largo** presentan menores variaciones. Sin embargo, la **forma de la sección** de las fibras químicas puede también ser muy variable, según de que empresa provengan (*ver Secc. 223 de este capítulo*).

Como ya se ha señalado, la **hilabilidad** de una fibra depende en gran medida de su **rugosidad superficial**, es decir, de su **índice de fricción fibra / fibra**. La fricción interfibrilar impide que las fibras se deslicen unas sobre otras, confiriéndole **resistencia a la tracción al hilado**. La **fricción interfibrilar** es función del **área externa** de las fibras y de la **cantidad** de éstas que hay por **sección transversal de hilado**. El **área externa** de la fibra está determinada por: **1)** su **largo** y, **2)** por el **perímetro** de su **sección**, y este a su vez, por el **diámetro aparente**. El **diámetro aparente** y el **largo** de las fibras tienen entonces fundamental importancia en el proceso de hilatura de las **fibras discontinuas**.

La **cantidad de fibras** que deben haber **por sección de hilado** no puede ser menor a un valor mínimo, llamado **“límite de hilabilidad”** que será distinto según la naturaleza de la fibra textil que se utilice. **Por debajo de esa cantidad mínima de fibras por sección, un hilado de fibras discontinuas no tendrá resistencia a la tracción y no será viable**. Como esa cantidad mínima de fibras por sección se debe respetar siempre, **en general, no se pueden hacer hilados delgados con fibras gruesas** (*Ver: Cap. 4, “Hilatura de fibras discontinuas”, Figura 2.15, Tabla 2.8 y Figura 2.25*). Por otra parte, **la regularidad** de los hilados es mejor cuando las fibras son finas que cuando son gruesas, pues **una ligera variación al azar en la cantidad de fibras por sección del hilado, será más notable cuando las fibras son gruesas que cuando son finas**. Por tanto, en el momento de adquirir la materia prima que se utilizará en la producción de un hilado de un determinado título, tendrá gran importancia conocer el **diámetro aparente** o **“finura”** de las fibras textiles, sus **valores medios** y sus **CV%**.

La **lana** es una fibra relativamente larga si la comparamos con el **algodón** y presenta una gran variación del diámetro aparente, según sea la raza del ovino y la parte del vellón de donde provenga. Por tanto, el **diámetro aparente** será mucho más importante que el **largo** a la hora de comercializar lana. El **algodón**, por el contrario, si lo comparamos con la **lana**, es una fibra corta y con una menor variación de su diámetro aparente. Por tanto, a la hora de vender y comprar **algodón**, se valora más su **largo** (*además de otras propiedades como la madurez, el color, etc.*).

La **“finura”** es una expresión utilizada en la industria lanera para establecer una estimación **subjetiva** del **diámetro aparente** de la fibra. Sin embargo, la expresión **“diámetro aparente”** es más correcta, pues la fibra no tiene una sección circular perfecta y por tanto no existe un

diámetro real sino “**aparente**”. Tanto la “**finura**” como el “**diámetro aparente**” se expresan comúnmente en **micrones**, es decir en milésimas de milímetro (ver Figuras 2.11, 2.12 y 2.13).

La “**finura**”, además de su importancia en el proceso de hilatura, es también muy importante porque determina una propiedad muy apreciada en el artículo final: la **suavidad**. Un aumento al doble del diámetro aparente de la fibra se estima que reduce unas 16 veces la flexibilidad de la misma. **Las fibras gruesas serán por tanto más rígidas**, tendrán más tendencia a “pinchar” la piel humana y producir escozor. Los artículos hechos con fibras delgadas y flexibles no “pinchan”, son más suaves y se comercializan, por tanto, a mejor precio (ver Figura 2.14).

El **diámetro aparente** y muy especialmente el **largo** de las fibras influyen también en una propiedad fundamental del hilado: la **regularidad**. Estas propiedades morfológicas, sumadas a la forma como se lleve a cabo el proceso de hilatura, determinarán que el hilado posea o no una buena “**regularidad de masa**” (ver Capítulo 4).

COMPARACIÓN DE LA “FINURA” DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES (en micrones)

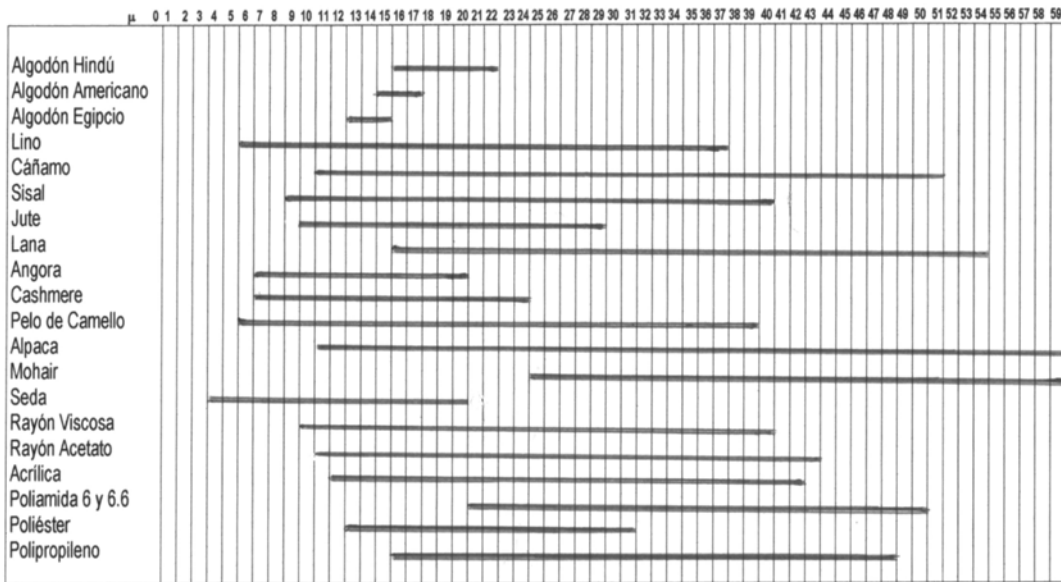


Figura 2.11

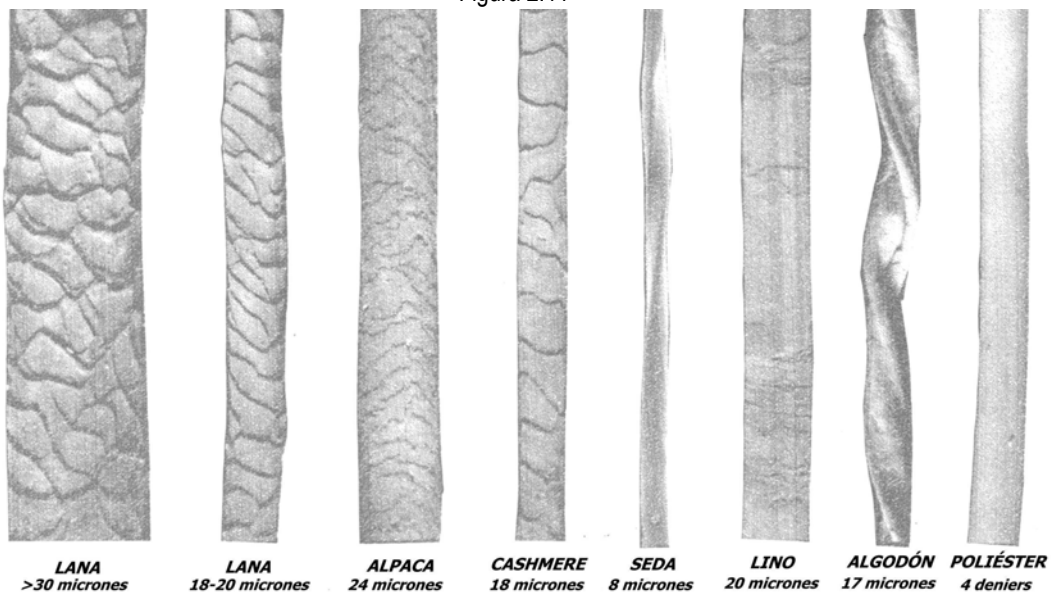


Figura 2.12

+

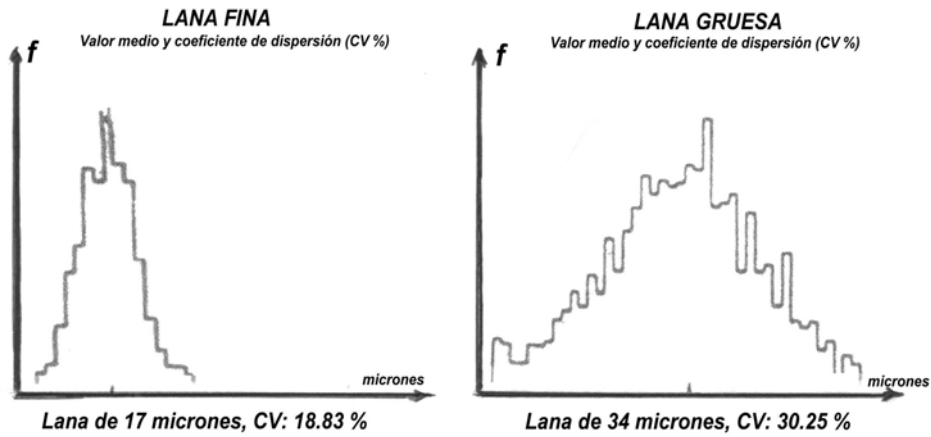


Figura 2.13

Finura de la lana: valores medios y su dispersión

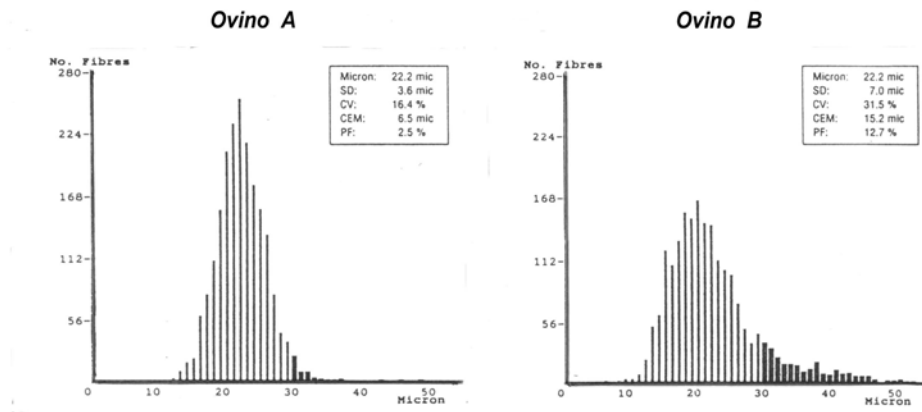


Figura 2.14

La finura y la suavidad al tacto

“Factor de escozor”: es el porcentaje de fibras de la muestra con finura mayor a 30 micrones.

“Micrones del borde grueso”: es el número de micrones por encima de la media correspondientes al 5 % de las fibras más gruesas. La lana del ovino A será más suave que la del ovino B

"FINURA" DE LA FIBRA * LÍMITE DE HILABILIDAD * TÍTULO DEL HILADO

Ejemplo: LANA de 18 y 30 micrones de "finura"

Límite de Hilabilidad (LH) = 45-50 fibras por sección del hilado

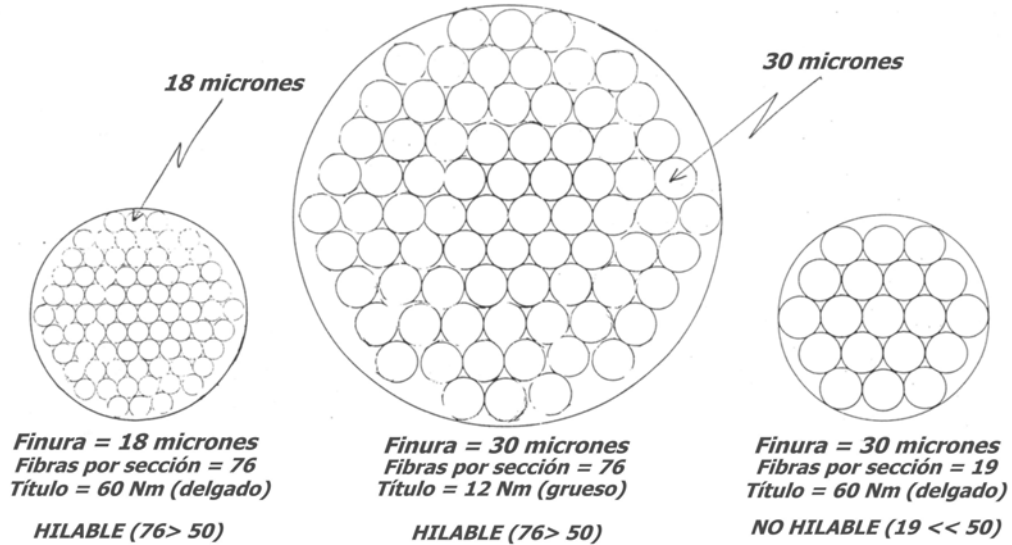


Figura 2.15

CANTIDAD DE FIBRAS POR SECCIÓN DE HILADO NECESARIAS PARA HILAR LANA

Los números en rojo, a la izquierda de la línea divisoria, corresponden a los hilados viables, es decir, aquellos que tienen una cantidad de fibras por sección igual o mayor al "límite de hilabilidad (45 fibras por sección)"

μ Nm	8	10	12	18	24	28	32	36	40	44	48	56
30,0			84	56	42	36	31					
29,5			87	58	43	37	33					
29,0			90	60	45	38	34	30				
28,5			94	62	47	40	35	31				
28,0				65	48	41	36	32				
27,5				67	50	43	38	33	30			
27,0				70	52	44	39	34	31			
26,5				72	54	46	40	36	32			
26,0				75	56	48	42	37	33	30		
25,5				78	58	50	44	39	35	31		
25,0					61	52	46	40	36	33	30	
24,5					63	54	47	42	38	34	31	
24,0					66	56	49	44	34	36	33	
23,5					69	59	52	46	41	37	34	
23,0						61	54	48	43	39	36	31
22,5						64	56	50	45	41	37	32
22,0						67	59	52	47	43	39	34
21,5							62	55	49	45	41	35
21,0							65	57	51	47	43	37
20,5								60	54	49	45	39
20,0								63	57	52	47	41
19,5									60	54	50	43
19,0									63	57	52	45

Tabla 2.8

2.2.0- Equipos para la medición del diámetro aparente de las fibras textiles

1-MICROSCOPIO DE PROYECCIÓN. (ej. lanómetros)

Un microscopio proyecta la imagen sobre una pantalla donde se mide el diámetro de unas 100 fibras con una regla graduada. Se construye un histograma y se determina la finura media en micras y su CV%. Es un método que insume mucho tiempo.

2-“AIR FLOW” (“WIRA Fibre Fineness Meter”) (Figura 2.16)

Este equipo es muy usado para lana aunque también se utiliza para algodón. Se hace pasar una corriente de aire por una muestra de peso conocido de fibras lavadas y cardadas. Se pueden medir el flujo de aire a presión constante o la caída de presión a flujo constante. El primer método es el más usado. La fórmula básica del aparato relaciona la caída de presión con el diámetro aparente de la fibra: $Q = (k.d.e.A.\Delta P) / (1-e)L$; donde d = diámetro de la fibra y k, A, L, e son constantes del aparato. Se mide el caudal Q en el rotámetro a ΔP constante y se obtiene d , en micrones, en una curva de calibración.

3-“CSIRO SONIC FIBRE FINENESS METER”

Mide la variación de frecuencia sónica a través de la muestra de fibras. El aparato registra, en milivoltios, la atenuación producida por la muestra a la señal de ultrasonido. El diámetro medio, en micras, se obtiene de una tabla de conversión.

4-“OPTICAL FIBRE DIAMETER ANALYSER (OFDA)” (Figura 2.17)

El equipo magnifica la imagen de las fibras individuales usando una cámara de video, y se miden en la pantalla del monitor sus diámetros aparentes.

5-TEXLAB FDA 200 PEYER

Se suspende una muestra de fibras en un líquido adecuado. Se hacen pasar las fibras, una por una, por una zona de medición y se miden sus diámetros aparentes con un rayo láser.

6-SIROLAN-LASERSCAN (Figura 2.18, 2.19)

Es un equipo similar al anterior, desarrollado por el CSIRO de Australia.

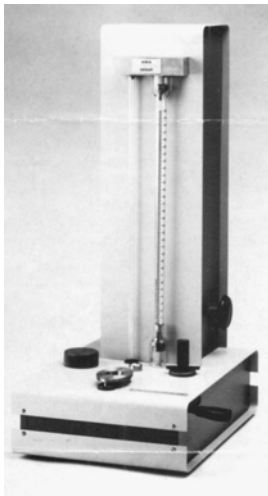
7- “FIBRONAIRE” o “MICRONAIRE”

Este equipo mide la resistencia al pasaje de aire que opone una muestra de algodón, a dos presiones distintas, y da un valor que se corresponde con la “finura” y la “madurez” de la fibra. Ese valor se expresa como “*índice micronaire*”, que equivale al peso en microgramos ($10^{-6}g$) de una pulgada de largo de fibra (25,4 cm). *Índices micronaire* de 3 son característicos de algodones muy finos, de 3 a 5 de algodones de finura media e, índices superiores a 5 de algodones gruesos. Existen también equipos, como el “IIC-Shirley Fineness/Maturity Tester”, que dan valores de finura y madurez por separado.

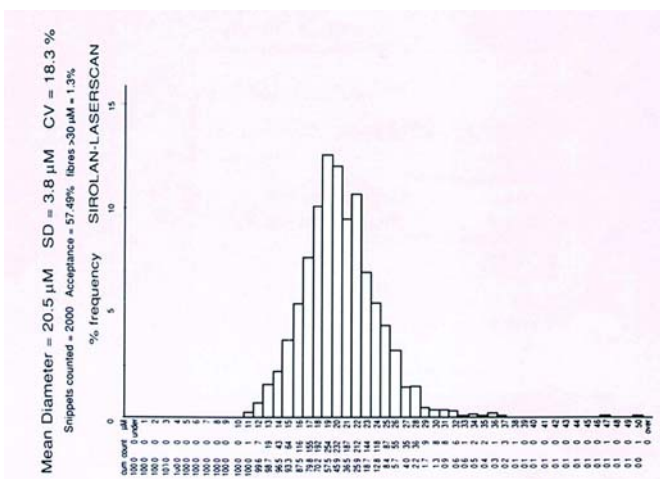
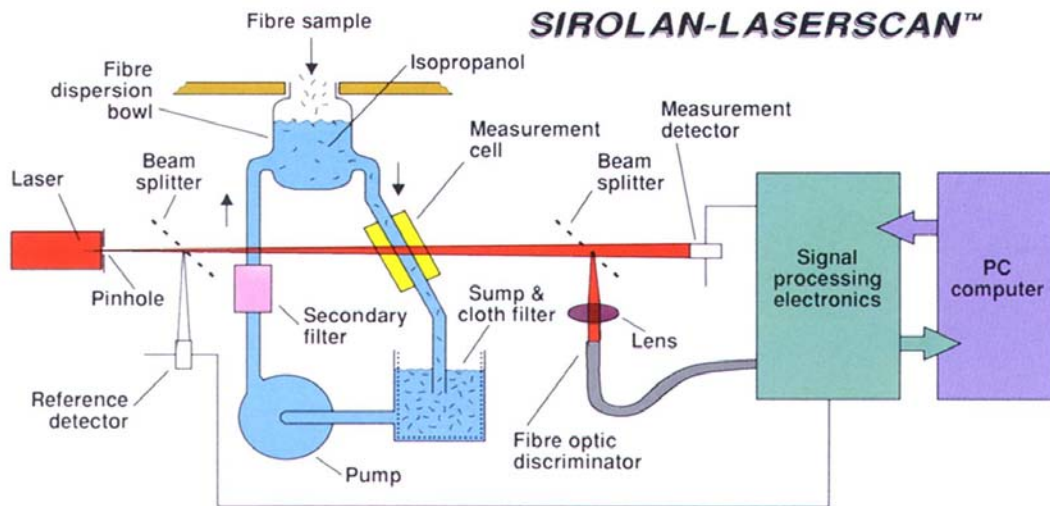
8- “HIGH VOLUMEN INSTRUMENT (HVI)” (Figura 2.20)

Estos equipos permiten obtener, en pocos minutos y en serie, datos de finura, madurez, color, suciedad, largo y resistencia a la tracción de una gran cantidad de muestras de algodón.

FLOW METER



OPTICAL FIBRE DIAMETER ANALYSER (OFDA)



Histograma resultante de una medición con el Sirolan-Laserscan



HIGH VOLUMEN INSTRUMENT (HVI)

*Figuras 2.16, 2.17, 2.18, 2.19 y 2.20
 tomadas de folletos comerciales*

2.3.0- La “densidad lineal” de una fibra

En el caso de la **seda** y de las **fibras químicas** no es común expresar sus “**diámetros aparentes**” en **micrones** sino que en general se determinan sus “**densidades lineales**”, tanto si son filamentos o si son fibras “cortadas”.

Se define la “**densidad lineal**” de una fibra **como el peso correspondiente a un dado largo. Solo para materiales de igual peso específico, la “densidad lineal” será función lineal del diámetro aparente de la fibra** (ver también “Título, Número y Cuenta de Hilados” en el Cap. 4).

peso específico de un cuerpo cilíndrico = peso / (área de la sección x largo) = $P / S \times L = P / V$
“densidad lineal” de una fibra = peso / largo = P / L

La “**densidad lineal**” de las fibras continuas o filamentos, así como las fibras discontinuas que resulten de su corte, se expresan generalmente en “**decitex**” o en “**deniers**”.

El “**tex**” expresaría **el peso en gramos de una fibra de 1000 metros de longitud**. Una fibra de 1 tex sería aquella que pesara un gramo por cada 1000 metros.

El “**denier**” expresa **el peso en gramos de una fibra de 9000 metros de longitud**. Una fibra de un “denier” sería aquella que pesara un gramo por cada 9000 metros.

Un **decitex** es aproximadamente igual a un **denier**: 1 decitex = 0,9 denier; 1 denier = 1,1 decitex

Si dividimos la “**densidad lineal**” de una fibra por su **peso específico** obtendremos su “**sección equivalente**”: $(P/L) / [P/(S \times L)] = P.S.L / P.L = S$. Conocidas entonces la **densidad lineal** de una fibra, en **dtex** o **deniers**, y su **peso específico**, en p.ej., **g/cm³**, se puede calcular su **sección equivalente** en **cm²**, y por tanto su **diámetro aparente** en **micrones**.

Pregunta: ¿Cuál será la sección equivalente y el diámetro aparente de un filamento de poliéster de 5 deniers (peso esp. 1,38 g/cm³)?

Respuesta: $5 \text{ g} / 9000 \text{ m} = 5,5 \times 10^{-4} \text{ g/m}$; sección: $(5,5 \times 10^{-4}) / 1,38 = 3,98 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$
 diámetro aparente: $\sqrt{(3,98 \times 10^{-6} \times 4) / \pi} = 22,1 \times 10^{-4} \text{ cm} = 22,1 \text{ micrones}$

Si la **naturaleza química** de las fibras que se comparan es distinta, y por tanto distinto su **peso específico**, ya **no hay una relación directa entre sus densidades lineales y sus secciones**. P.ej. una fibra de 3 deniers y peso específico 1,5 tendrá una “sección equivalente” o “denier equivalente” igual a otra de 2 deniers y peso específico 1.

P- Para fibras de diferentes pesos específicos pero igual tex o denier, ¿cuál tendrá mayor “sección equivalente”? **R-** La más liviana, o de menor peso específico.

P- Considerando dos conjuntos de fibras de pesos totales iguales pero de pesos específicos diferentes, y suponiendo largos promedio iguales para todas las fibras, ¿qué conjunto presentará una mayor **área de contacto interfibrilar**? **R-** El conjunto de mayor peso específico, pues las secciones equivalentes de sus fibras serán menores y, para un dado peso, habrán más fibras y por tanto, mayor área de contacto interfibrilar..

Para elaborar un hilado con una mezcla íntima de fibras de distinta naturaleza, es importante que sus **diámetros aparentes** y sus **secciones equivalentes sean similares** y no que sus **densidades lineales sean iguales**. Los hilados elaborados con fibras de distintas **secciones equivalentes**, tienden a tener una mayor “**migración**” o movimiento de fibras desde el núcleo a la vaina del hilado y viceversa, con lo que pueden producirse problemas de **pilosidad** y/o “**pilling**”.

TABLA 2.9
PESO ESPECÍFICO DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES

FIBRA	g/cm³
Algodón	1,54 - 1,56
Lino	1,50
Lana	1,30 - 1,32
Seda	1,25 - 1,34
Rayón Acetato	1,31 - 1,33
Rayón Viscosa	1,52
Poliámidas (“nylon”)	1,14
Poliésteres	1,23-1,38
Poliacrílicas	1,13
Poliolefinica	0,92 - 0,95

En algunos casos puede ser conveniente establecer (*para una fibra natural, un filamento o una fibra artificial y/o sintética cortada*) una equivalencia entre la **finura** expresada en micrones y la **densidad lineal**. En la *Tabla 2.10* se dan algunos valores aproximados de estas equivalencias.

TABLA 2.10
ALGUNAS EQUIVALENCIAS APROXIMADAS ENTRE
DIÁMETRO APARENTE EN MICRONES Y DENSIDAD LINEAL EN DECITEX

Diámetro aparente MICRONES	DECITEX				
	LANA	VISCOSA	NYLON 6.6	PES	ACRÍLICO
19	4.0	3.3	3.1	3.9	2.1
20	4.4	3.7	3.6	4.3	2.3
21	4.9	4.1	3.9	4.8	2.6
22	5.3	4.4	4.3	5.2	2.8
23	5.9	4.8	4.7	5.7	2.9
24	6.3	5.1	5.1	6.2	3.1
25	6.9	5.6	5.6	6.8	3.3
26	7.3	6.0	6.1	7.3	3.7
27	7.9	6.4	6.6	7.9	3.9
28	8.4	6.9	7.0	8.4	4.2
29	9.0	7.3	7.4	9.1	4.6
30	9.6	7.7	8.0	9.8	5.0
32	10.8	8.6	9.1	11.1	5.8
34	12.0	9.6	10.4	-	6.9
36	13.3	10.6	11.6	-	-

La **densidad lineal** en decitex ($N_{d\text{tex}}$) se calcula a partir del **diámetro aparente** en micrones (Φ_{ap}) con la siguiente fórmula: $(\pi \cdot \Phi_{ap}^2 / 4) \cdot 1.000.000 \times \text{peso específico de la fibra}$ (Φ_{ap} en cm y el **peso específico** en g/cm³)

2.4.0- Microfibras y microfilamentos

Hasta hace muy poco tiempo se consideraba que los artículos hechos con fibras artificiales y sintéticas tenían una “mano” o “tacto” menos agradable que las hechas con fibras naturales. Actualmente, sin embargo, este concepto ha cambiado, primero debido al **texturizado** de los filamentos (*ver pág. 48*) y, más recientemente, debido al desarrollo de las **microfibras** y los

microfilamentos. Desde 1985 el consumo de fibras sintéticas aumentó considerablemente y, con la aparición de las **microfibras** y **microfilamentos**; ese consumo se ha acelerado aún más. A partir de 1960 se comenzó a trabajar para obtener fibras **sintéticas** con **densidades lineales** similares o menores a los de la **seda**, es decir, de aproximadamente 1 dtex o 1 denier o menos

AÑO	Monofilamento (dtex ò denier)	Cantidad de filamentos	Hilado multifilamento (dtex ò denier total)
1960	5,0	30	150
1980	2,0	35	70
1985	1,0	50	50
1990	0,4 - 0,6	100	40-60

Si bien se pueden producir **microfilamentos** entre 0,1 y 1,0 dtex (y **ultra microfilamentos** entre 0,0001 y 0,1 dtex) para fines textiles, en general, se utilizan **microfilamentos** de **poliéster** de 0,55 - 0,65 dtex y de **poliamidas** de 0,80–0,85 dtex. Como las **poliamidas** son más blandas que el poliéster, se deben utilizar microfilamentos de poliamida algo más gruesos que los de poliéster, para obtener telas con texturas y resistencias finales similares.

Las "**microfibras cortadas**" se emplean menos que los "**microfilamentos**" pues presentan diversos problemas: p.ej. deben hilarse a velocidades más bajas para evitar la formación de "neps" y las telas tejidas con estos hilados pueden presentar luego problemas de "pilling". Para hilados de poliéster puro se pueden emplear "**microfibras cortadas**" de 0,8 dtex pero para mezclar con algodón y con lana se deben utilizar microfibras más gruesas de, p. ej., 1,1 dtex para algodón y de 1,3 dtex para la lana.

Las telas tejidas con hilados de **microfilamentos** o **microfibras cortadas** tienen un tacto mucho más suave, una superficie más tersa, una "caída" más pronunciada, una mayor estabilidad dimensional. Tienen también una baja permeabilidad al "**agua líquida**" pero muy buena al "**agua vapor**", menor tiempo de secado, y un mayor poder cubriente de la luz.

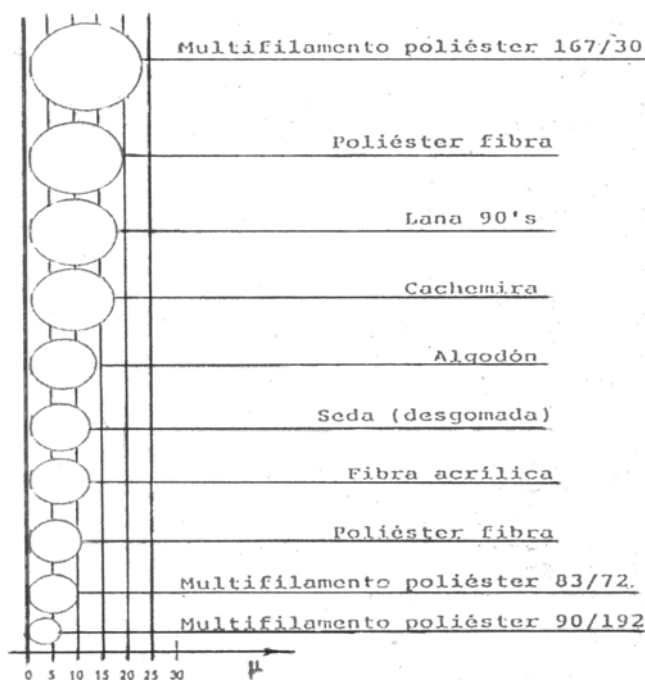


Figura 2.21 - Comparación de las **secciones equivalentes** de algunas fibras textiles

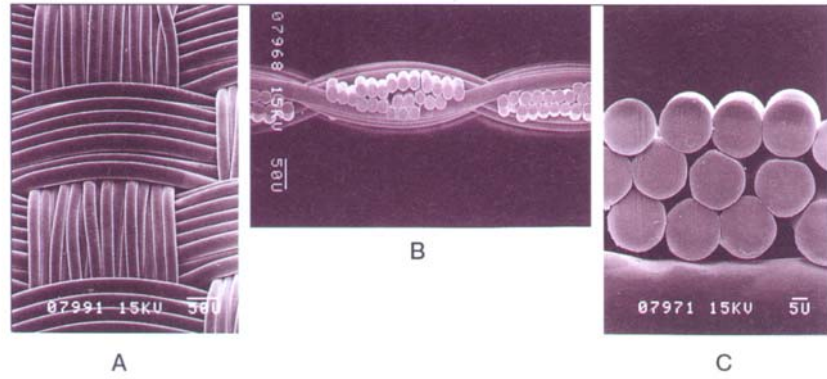


Figura 2.22
Tejido plano hecho con microfibras
 A: superficie del tejido, B: sección del tejido, C: sección de los microfibras

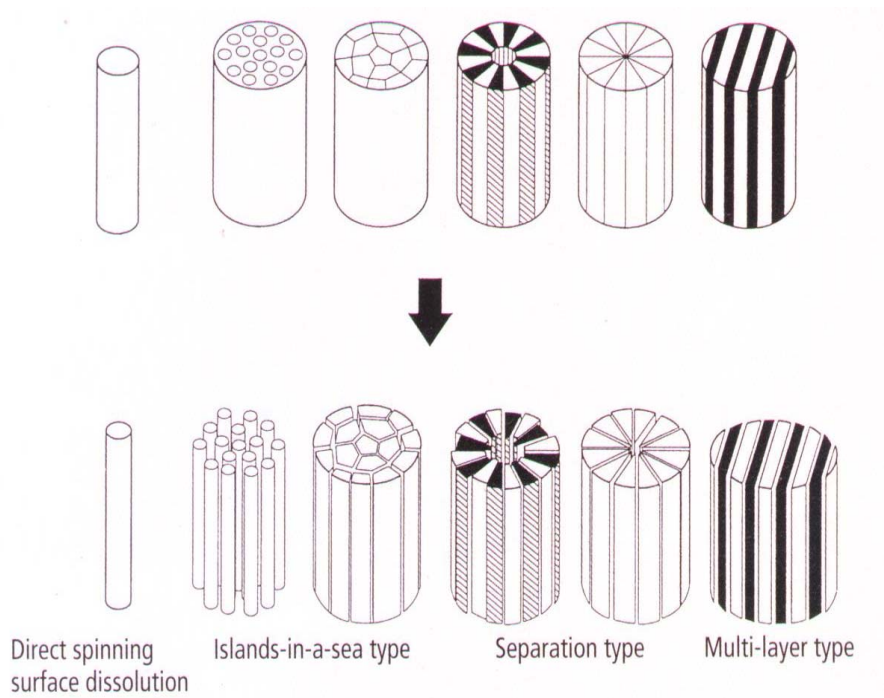


Figura 2.23
Métodos de producción de microfibras

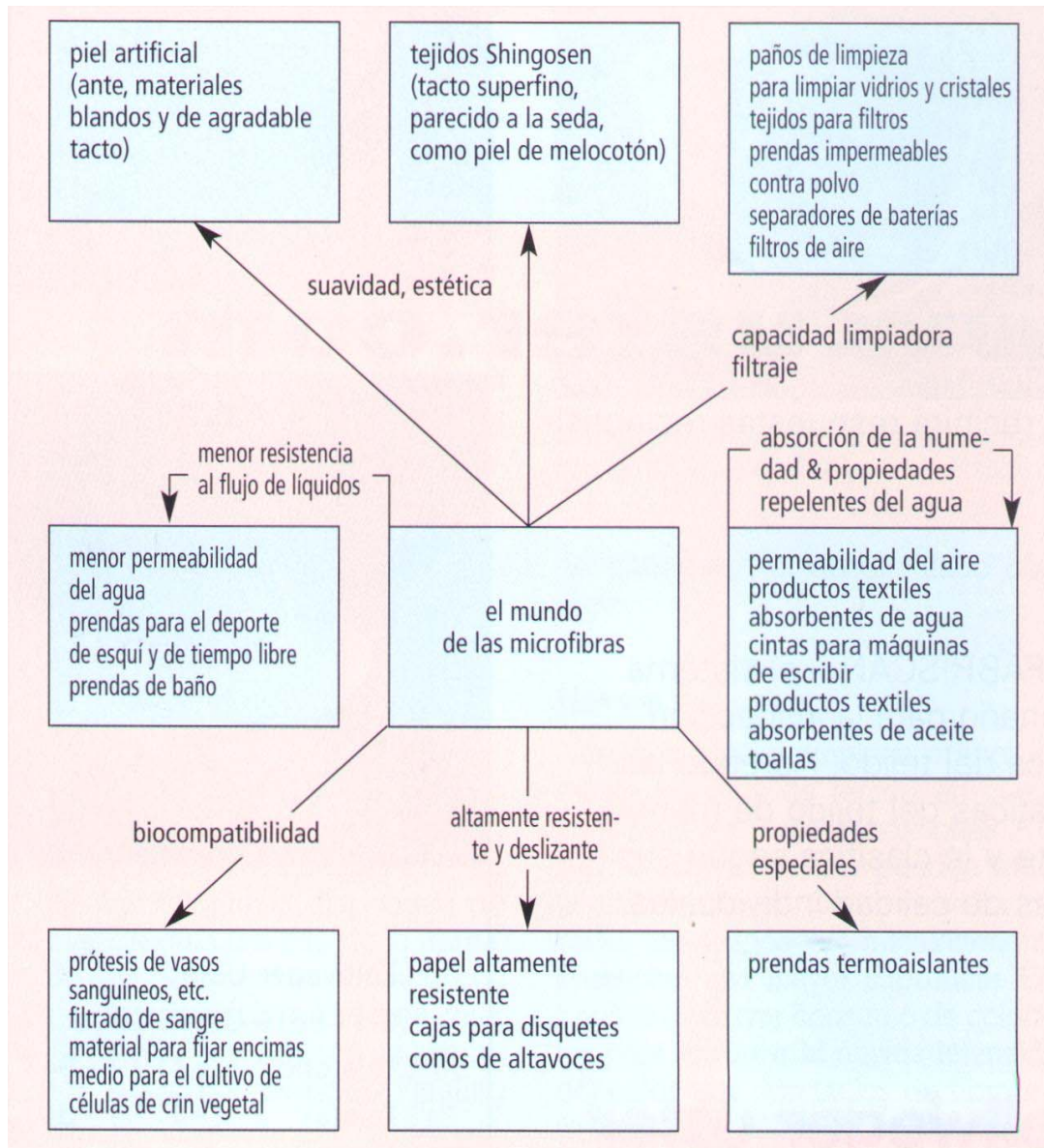


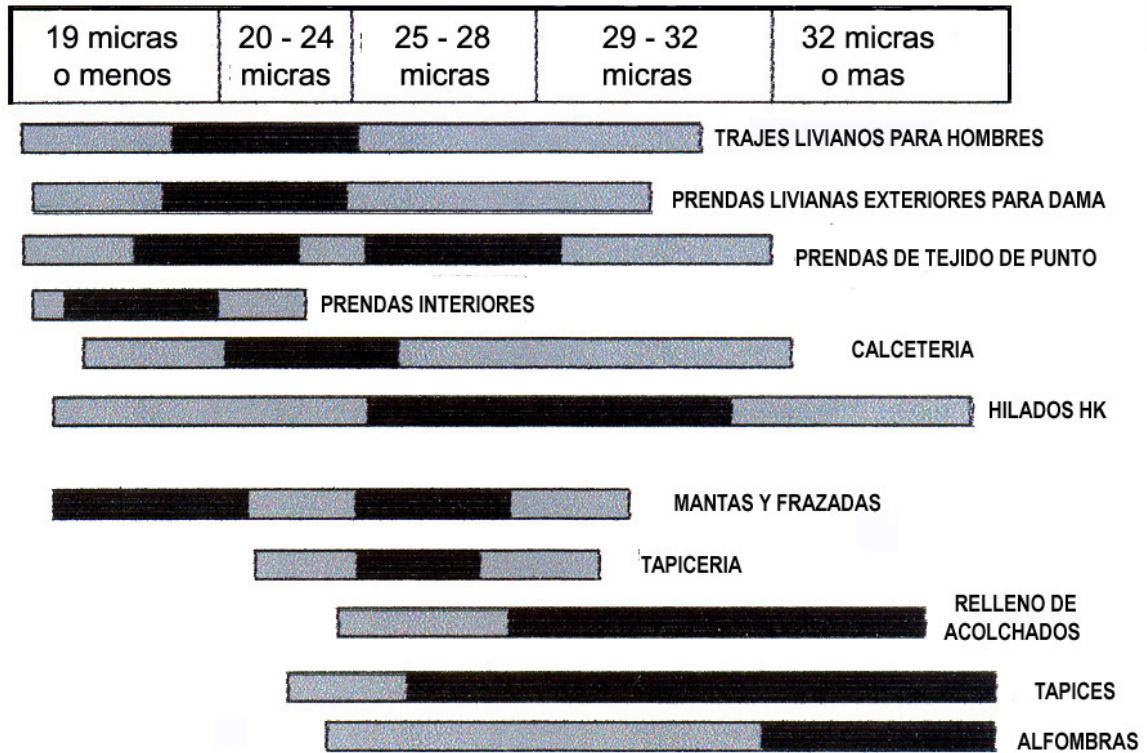
Figura 2.24

Posibles campos de aplicación de las microfibras y microfilamentos

Figura tomada del International Textile Bulletin (ITB)

Figura 2.25

ARTÍCULOS DE LANA SEGÚN LA FINURA DE FIBRA UTILIZADA



BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Fibre Science", J.M.Preston, The Textile Institute, Manchester, 1955
- 2- "Physical Methods of Investigating Textiles", R. Meredith, 1956
- 3- "The WIRA Textile Data Book", WIRA Headingley Lane, Leeds, LS 6 1 BW, England, 1973
- 4- "Shingosen: Past, Present and Future", M.Okamoto, K.Kajiwara, Textile Progress, Vol.27, N°2, 1997

2.5.0- La medición de la longitud de las fibras textiles

Las fibras textiles presentan una variación o dispersión no solo de su “finura”, sino también de su longitud. Esta variación o dispersión es mayor en las fibras naturales que en las fibras “hechas por el hombre”. Dada una materia prima, conocer la distribución de la longitud de las fibras, y muchas veces la fracción de fibras más cortas que un dado valor, tiene gran importancia para el control de calidad del proceso de hilatura. Este tema es especialmente crítico para el algodón, que es una de las fibras naturales más “cortas” (30 mm, promedio). Las fibras de algodón muy cortas (menos de 20 mm) conocidas con el nombre de “linters” no sirven para ser hiladas. Las fibras de celulosa de la madera, que son aún mucho más cortas que el “linter” (10 mm o menos, según el tipo de madera), son aptas solo para hacer pasta de celulosa y papel, pero no para ser hiladas.

Un alto contenido de fibras muy cortas, en las fibras utilizadas como materia prima, influye negativamente en la regularidad de masa (ver Vol. 2, Cap. 05) y en la resistencia a la tracción del hilado, así como en la tendencia a la formación de “pilling” en los tejidos. La operación de “peinado” tiene como finalidad justamente retirar las fibras más cortas y mejorar la **regularidad** y la calidad final del hilado (ver Vol. 2, Cap. 04, Sección 4.0.0 y 5.0.0). Es importante tener en cuenta que a veces, debido a las altas velocidades de trabajo de las máquinas de hilatura modernas, la cantidad de fibras cortas puede incrementarse por rotura de fibras durante las operaciones de cardado y estirado.

2.5.1- Función probabilidad

La dispersión de longitud puede ser descrita, desde un punto de vista estadístico, como una función continua de probabilidad, $y' = f(l)$, tal como se indica en la Figura 2.26

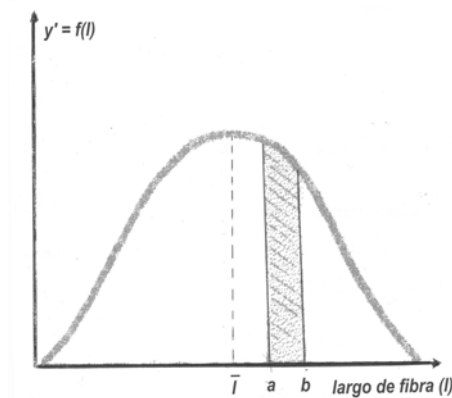


Figura 2.26 - Función probabilidad

La probabilidad $p(l)$ que una longitud l esté comprendida entre a y b será:

$$p(a < l < b) = \int_a^b f(l) dl$$

La probabilidad de que l esté entre un valor l_{min} y un valor l_{max} será igual a 1, es decir 100 % :

$$p(l_{min} < l < l_{max}) = \int_{l_{min}}^{l_{max}} f(l) dl = 1$$

La **función probabilidad acumulada** $F(l)$ será:

$$y = F(l)$$

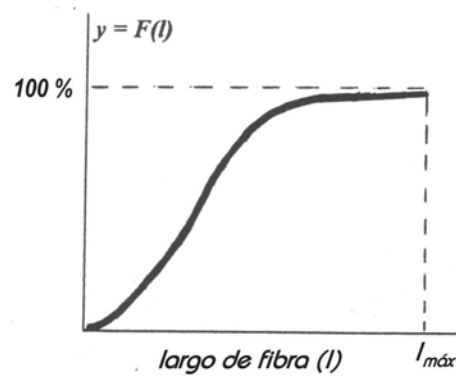


Figura 2.27 - Probabilidad acumulada

La ordenada $F(L)$ indica la **frecuencia relativa acumulada**, es decir la probabilidad de que el valor de una observación sea **menor o igual** que un valor **L dado**.

$$F(L) = F(l \leq L) = \int_0^L f(l)dl$$

$$F(L_{max}) = \int_0^{L_{max}} f(l)dl = 1$$

En la práctica se entiende que la información que proporciona dicha función es el porcentaje de fibras que poseen una longitud inferior o igual a un valor **L dado**. La **función probabilidad acumulada** es la primera integral de la **función probabilidad o histograma**.

La ordenada de la **frecuencia relativa acumulada complementaria**:

$$\phi(l) = 1 - P(L)$$

es la probabilidad de que el valor de una observación sea **mayor** que un valor **L dado**. La curva de la **función probabilidad acumulada complementaria** sería igual a la figura que obtendríamos si acomodáramos por su largo, paralelas al eje de abscisas, todas las fibras de la muestra, una sobre otra, con uno de sus extremos tocando el eje de ordenadas. Los valores de la ordenada suministran el porcentaje de fibras cuya longitud es superior a una longitud **L dada**.

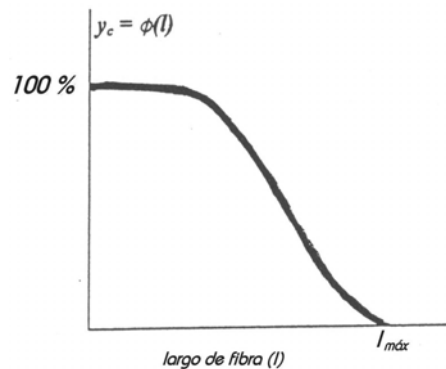


Figura 2.28 - Probabilidad acumulada complementaria

2.5.2- Longitud media “barbe”

El valor medio de una variable discreta, obtenida de una tabla de frecuencias es:

$$\bar{x} = \sum f_i(x_i)x_i$$

donde $f_i(x)$ es la frecuencia **relativa** de la clase i y x_i el valor central de cada clase.

Cuando la muestra se hace más grande, de modo que representa toda la población, la frecuencia relativa es equivalente a la probabilidad. Entonces el valor medio de la población (μ) está dado por:

$$\mu = \sum \text{Pr}(x = x_i)x_i$$

y para una función continua:

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot x_i dx_i$$

El valor medio de una variable x , ponderado por un factor de importancia m , tiene la siguiente notación:

$$(m, x) = \frac{\sum f(x)_i \cdot m_i \cdot x_i}{\sum f(x)_i \cdot m_i} \quad (2)$$

siendo $f(x)$ la frecuencia **absoluta** de la variable. Si m , el factor de ponderación, vale 1 o es constante, la expresión (2) se transforma en:

$$(1, x) = \frac{\sum f(x)_i \cdot x_i}{\sum f(x)_i} = \bar{x} \quad (\text{valor medio de la variable } x)$$

Asociando la longitud l de la fibra a la variable x y considerando un factor de ponderación p_i , correspondiendo al peso de cada fibra, se define la “barbe” (B), como **la media de la longitud de las fibras ponderada o sesgada por el peso de las fibras**.

$$B = (p, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot p_i \cdot l_i}{\sum f(l)_i \cdot p_i} \quad (3)$$

El peso p_i se puede expresar como:

$$p_i = l_i \cdot s_i \cdot \delta_i \quad (4)$$

siendo, l_i el largo, s_i la sección, δ_i el peso específico de la fibra. Sustituyendo entonces p_i en la ecuación (3) por su valor (4), tendremos:

$$B = (p, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot s_i \cdot \delta_i \cdot l_i^2}{\sum f(l)_i \cdot s_i \cdot \delta_i \cdot l_i}$$

La densidad lineal o título de la fibra N_i se puede expresar como:

$$N_i = \delta_i \cdot s_i \quad (5)$$

entonces:

$$B(p, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot N_i \cdot l_i^2}{\sum f(l)_i \cdot N_i \cdot l_i}$$

Si suponemos que N se mantiene constante obtenemos un valor de “**barbe**” de:

$$B = (l, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot l_i^2}{\sum f(l)_i \cdot l_i} \quad (6)$$

y para una distribución continua de la longitud de fibra :

$$B(l, l) = \frac{\int f(l) \cdot l^2 \cdot dl}{\int f(l) \cdot l \cdot dl} \quad (7)$$

Las frecuencias relativas de un **histograma “barbe”** (y_1), y las frecuencias relativas de un **diagrama acumulado “barbe”** (y_2), representan el % de fibras expresado en **peso** para cada “clase de largo”. Si N es constante, representan el % de fibras sesgado por el **largo**, para cada “clase de largo” (ver Figuras 2.37). El diagrama acumulado se conoce también como “**fibrograma barbe de primera especie**”. El coeficiente de variación de la “**barbe**” CV_B , es:

$$CV_B = \frac{\sigma_B}{B} \cdot 100 = \frac{100}{B} \cdot \sqrt{\frac{\sum (l_i - B)^2 \cdot p_i}{\sum p_i}} \quad (8)$$

2.5.3- Longitud media “hauteur”

Se define la longitud “hauteur” como la longitud media de las fibras ponderada ó sesgada por **la sección ó título de las fibras**. Tendremos:

$$H = (s, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot s_i \cdot l_i}{\sum f(l)_i \cdot s_i} \quad (9)$$

Si $\delta = cte$ como $N = \delta \cdot s$ tendremos:

$$H = (N, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot N_i \cdot l_i}{\sum f(l)_i \cdot N_i} \quad (10)$$

Si N es constante, o existen intervalos de dispersión suficientemente estrechos para la sección de las fibras, la ecuación (10) se transforma en:

$$H = (l, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot l_i}{\sum f(l)_i} = \sum f(l)_i \cdot l_i \quad (11)$$

que coincide con la longitud media del conjunto de fibras o “longitud media no ponderada”.

Las frecuencias relativas de un **histograma “hauteur”** (y_4), y las frecuencias relativas de un **diagrama acumulado “hauteur”** (y_5), representan el % de fibras sesgado por **sección** o **densidad lineal N** de las fibras, para cada “clase de largo”. Si N es constante, simplemente representan el % de la **cantidad** de fibras, por “clase de largo” (ver Figuras 2.37). El diagrama acumulado se conoce también como “**fibrograma Hauteur de primera especie**”. El coeficiente de variación del “**hauteur**”, CV_H es:

$$CV_H = \frac{\sigma_H}{H} \cdot 100 = \frac{100}{H} \cdot \sqrt{\frac{\sum (l_i - H)^2 \cdot s_i}{\sum s_i}} \quad (12)$$

2.5.4- Relaciones entre Barbe y Hauteur

La "barbe" y la "hauteur" están relacionadas por la siguiente ecuación matemática:

$$B = H(1 + CV_H^2)$$

$$\begin{aligned} l^2 &= l^2 + \bar{l}^2 - \bar{l}^2 + 2l\bar{l} - 2l\bar{l} & (\bar{l} = \text{longitud media}) \\ (l - \bar{l})^2 &= l^2 - 2l\bar{l} + \bar{l}^2 \\ l^2 &= (l - \bar{l})^2 + 2l\bar{l} - \bar{l}^2 \end{aligned}$$

que se puede deducir como sigue, si utilizamos el artificio matemático de sumarle y restarle a l^2 términos similares,

Hemos visto que:

$$B = (l, l) = \frac{\sum f(l)_i \cdot l_i^2}{\sum f(l)_i \cdot l_i} = \frac{\int f(l) \cdot l^2 \cdot dl}{\int f(l) \cdot l \cdot dl} \quad (7)$$

Podemos entonces reordenar y sustituir en el numerador de (7):

$$\int l^2 f(l) dl = \int (l - \bar{l})^2 f(l) dl + 2\bar{l} \int l f(l) dl - \bar{l}^2 \int f(l) dl$$

La desviación standard es:

$$\sigma^2 = \sum (l - \bar{l})^2 / n$$

pero como estamos trabajando con frecuencias relativas, entonces:

$$\int (l - \bar{l})^2 \cdot f(l) dl = \sigma^2 ; \quad \int l^2 \cdot f(l) dl = \sigma^2 + 2\bar{l} - \bar{l}^2 ; \quad \int l^2 \cdot f(l) dl = \sigma^2 + \bar{l}^2$$

por otra parte, el denominador de (7) es:

$$\int l \cdot f(l) dl = \bar{l}$$

entonces:

$$B = (\sigma^2 + \bar{l}^2) / \bar{l}$$

Si ahora multiplico y divido esta expresión por l media, tendremos:

$$B = \frac{l(\sigma^2 + \bar{l}^2)}{\bar{l}^2} = \bar{l}(1 + \sigma^2 / \bar{l}^2)$$

Como:

$$\bar{l} = (l, l) = H ; \quad \sigma^2 / \bar{l}^2 = CV_H^2$$

entonces:

$$B = H(1 + CV_H^2)$$

2.5.5- Preparación de las muestras para la medición del largo de fibra

Antes de que existieran los equipos electrónicos, la longitud de las fibras se medían pinzando sucesivamente a distintas distancias, un velo o conjunto de fibras paralelizadas. En cada lugar de pinzado, se separaban, con **peines**, los grupos o “clases” de largo **no pinzados**. Luego de separados se pesaba cada uno de esos grupos o “clases” y se trazaba una gráfica de **peso vs. largo de “clase”** obteniéndose un diagrama o distribución de largo sesgado por peso (diagramas “**Barbe**”).

El **peso de cada “clase”** es igual a **la cantidad de fibras en la “clase”** por **el largo de la “clase”**, por **la sección de cada fibra** y por **el peso específico** del material textil. Como el **peso específico** se puede considerar constante, si se divide **el peso de cada “clase”** por **el largo de la “clase”** y se hace una gráfica del **resultado de esa división (expresado en %)** vs. los **largos de “clase”**, se obtiene una distribución del largo sesgado por la **sección** y por la **cantidad de fibras** (diagrama “**Hauteur**”). Considerando que, además, las **secciones** son constantes, el diagrama “**Hauteur**” se transforma en una distribución del largo por **cantidad de fibras**.

En los ensayos de longitud, **las muestras de ensayo** que se extraigan durante el proceso de hilatura deben ser representativas del total de la partida y adecuada al instrumento de medida. Actualmente, en los equipos electrónicos de medición del largo se trabaja con dos tipos de muestras: “**numérica**” o “**no sesgada**” y “**tuft**” o “**sesgada**”. Muestra **numérica ó no sesgada**, es aquella en la que cualquier fibra tiene la misma probabilidad de ser considerada para la medición de su longitud, independientemente de su longitud. Esta muestra se extrae pinzando la mecha o cinta, entre dos planos perpendiculares **AB** separados por una distancia del orden de los **2 mm** (Figura 2.29). A continuación, la muestra extraída se “peina” para retirar las fibras que no fueron pinzadas. Las fibras que quedan tienen sus extremos pinzados alineados en el plano **AB**. Este tipo de muestra es la que saca, por ejemplo, el “**Fibroliner FL 100**”, equipo auxiliar del **Almeter AL 100** (Figs. 2.38 y 2.39). Se mide el espesor de la muestra por métodos ópticos o capacitivos, registrando lecturas a intervalos regulares, en planos perpendiculares sucesivos, desde el plano de pinzado hasta el extremo libre de la fibra más larga (Figura 2.30). Las señales registradas serán proporcionales a la **cantidad** de fibras presentes en cada “clase de largo” pero **sesgadas** por la **sección** o **densidad lineal** de las fibras (*es decir, las más gruesas se contarán como si fueran más fibras delgadas*) y obtendremos entonces un **diagrama acumulado “Hauteur”**. Si la sección o la densidad lineal de las fibras es, o se considera, constante, obtendremos una distribución acumulada del **largo** de fibra, **no sesgada**, donde **H** (media hauteur) = **L** (media aritmética) y las frecuencias relativas acumuladas serán simplemente un % de la **cantidad** de fibras. Luego de la medición, el programa del microprocesador del equipo calcula automáticamente los **histogramas** y el **diagrama acumulado “barbe”** [de acuerdo a la expresión $B = H(1 + CV_H^2)$] (Figura 2.32)

El otro tipo de **muestra**, la **sesgada ó “tuft”**, se obtiene pinzando al azar, la cinta o mecha, en dos planos perpendiculares separados unos **10-15 mm**, es decir 4 a 6 veces más separados que en el caso anterior (Figura 2.33). Una vez extraída la muestra, se la “peina” por ambos lados para retirar fibras no pinzadas. De esta forma obtendremos una muestra **sesgada por largo** ya que una fibra larga tendrá más probabilidad de ser pinzada que una corta (*p.ej., las fibras más cortas que la longitud AB tendrán una muy baja probabilidad de ser pinzadas*). Si **N** es constante, la muestra además de estar sesgada por **largo** lo estará también por **peso**. Veremos que el diagrama que se obtiene o “**diagrama Tuft**” corresponde a la **integral** de un **diagrama “Barbe”**. La **muestra sesgada** o “**tuft**” es más representativa de la realidad, pues durante las diferentes etapas del proceso de hilatura las fibras no están nunca con sus extremos alineados. Esta muestra reproduce la disposición al azar de las fibras en los “campos de estiraje” p. ej. de

un *manuar*. La *Figura 2.34* muestra las fibras “pinzadas” por las bandas de control en un campo de estiraje y cómo podrían ordenarse por su largo “no pinzado” o “largo subtendido” o “span length”, prefigurando así un “*diagrama tuft*” (ver sección siguiente).

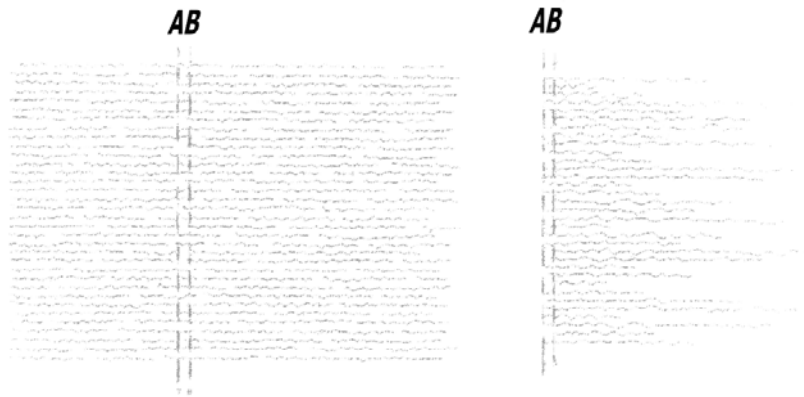


Figura 2.29 - Muestra numérica o “no sesgada”

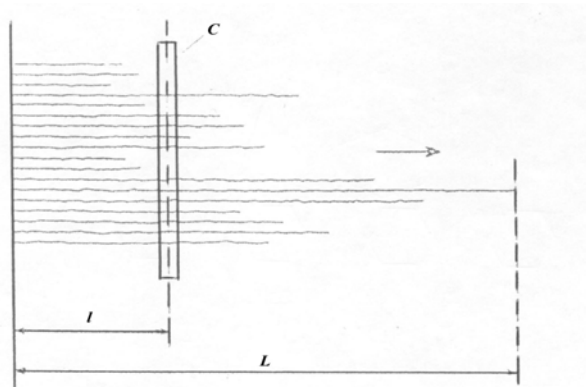
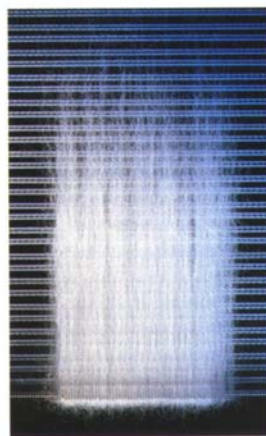
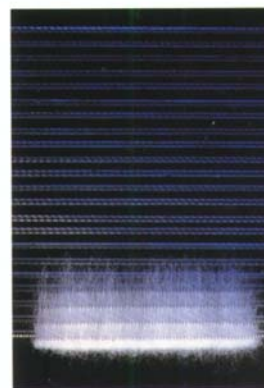


Figura 2.30 - Medición de una muestra numérica o “no sesgada”

Muestras de fibras ubicadas con uno de sus extremos sobre un mismo plano.



LANA



ALGODÓN

Figura 2.31

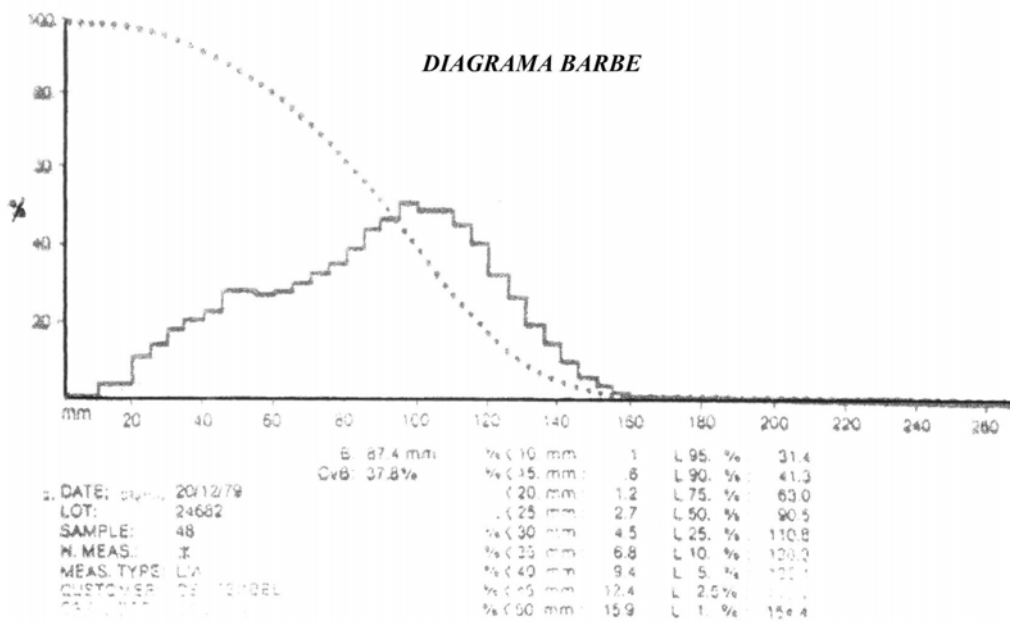
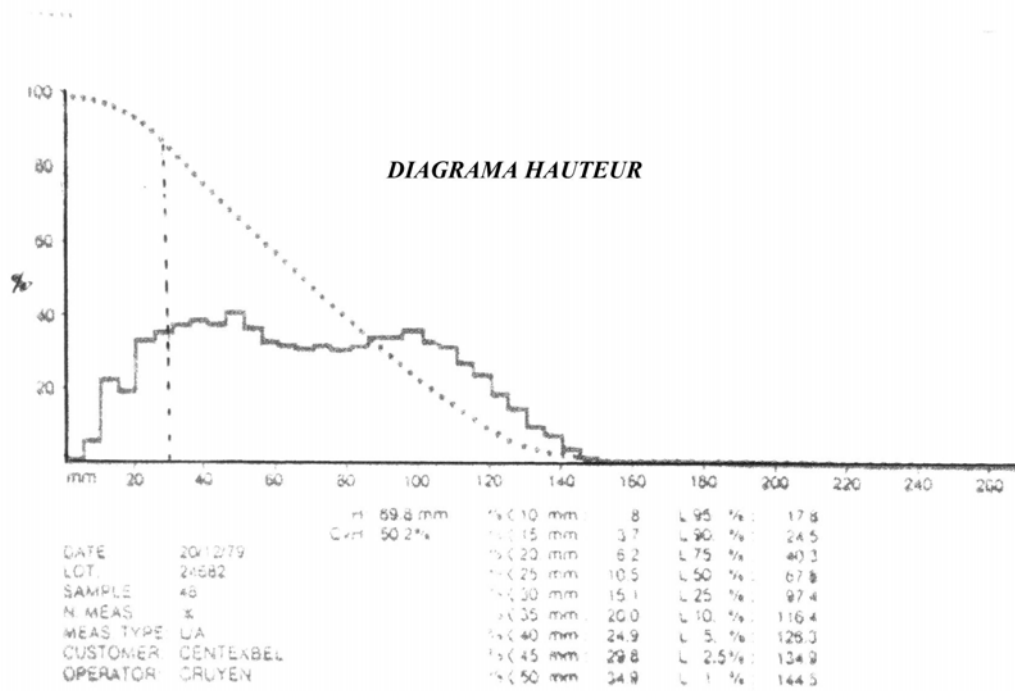


Figura 2.32 - Diagramas "Hauteur" y "Barbe" obtenidos en equipo Almeter 100

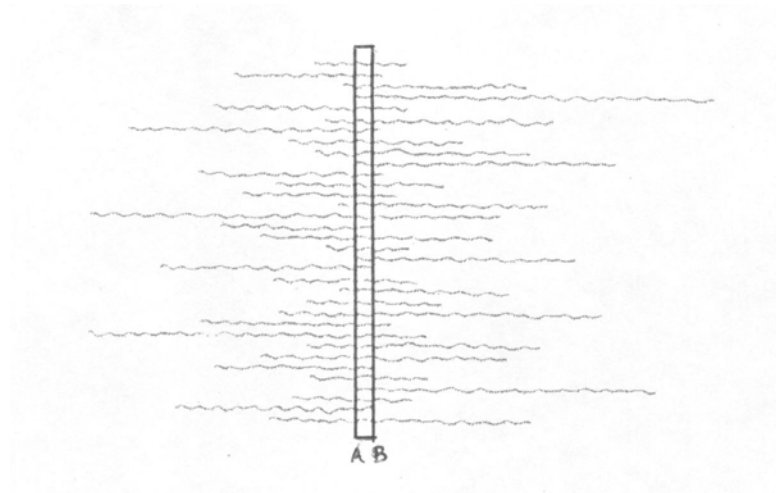


Figura 2.33 - Muestra "sesgada" o "tuft"

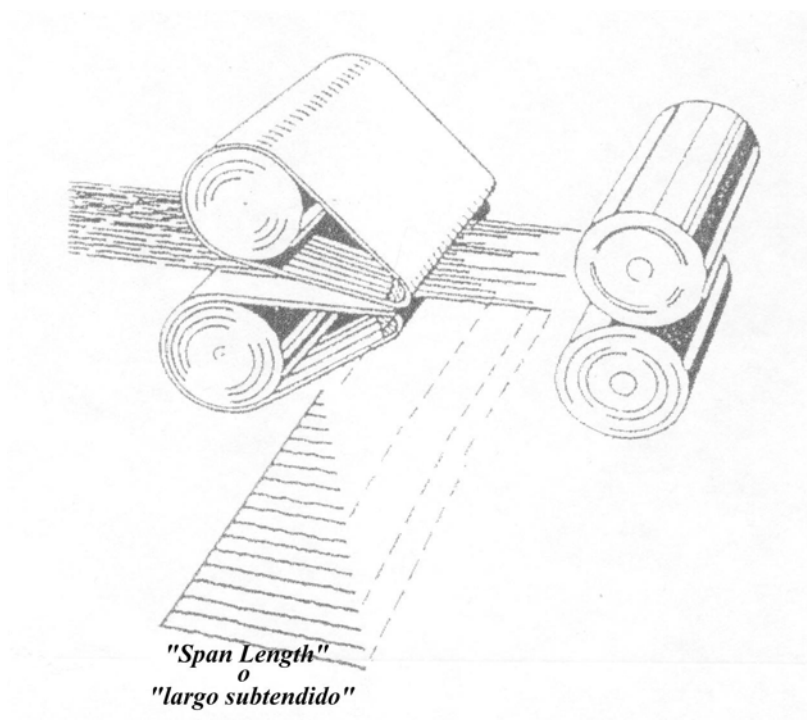


Figura 2.34 - Campo de estiraje de un "manuar"

2.5.6- Diagrama “Tuft” (“span length diagram”) o de “longitud subtendida”

Los **diagramas acumulados** muestran la distribución de una relativamente pequeña cantidad de fibra en la **muestra** ensayada. Sin embargo en la realidad, una **cinta o mecha**, tomada de una hilandería en producción, tiene miles de fibras. El **diagrama acumulado tuft**, que se obtiene a partir de una **muestra sesgada por largo o “tuft”**, es más representativo de esa realidad, pues resultaría de la integración de una gran cantidad de **diagramas acumulados “barbe”** (que por definición son sesgados por peso pero que, si suponemos **N** constante, lo son también sesgados por largo) (ver Figura 2.35). El **diagrama acumulado “tuft”** sería entonces **la integral del diagrama acumulado “barbe”** (ó la doble integral del histograma), por lo que también se le llama **“fibrograma de segunda especie”**.

Conocidos los diagramas acumulados **“Barbe”** y **“Hauteur”**, el diagrama **“Tuft”** no agregaría mucha más información. Sin embargo, es muy útil en la **hilandería algodonera** o de **“fibras cortas”** para ajustar ecartamientos en los trenes estiradores y predecir las fibras que se romperán entre los pares de cilindros de estirado. Los fibrogramas obtenidos con la mayoría de los **fibrografos algodoneros** y los **equipos HVI**, son diagramas **“Tuft”**.

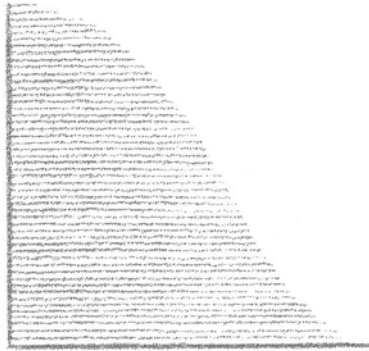
La Figura 2.36 muestra un diagrama **“Tuft”** con los parámetros de más interés para un hiladero de algodón. El **“Mean Length (ML)”** es la longitud media de las fibras y se determina trazando una tangente desde el 100% de cantidad de fibras hasta la intersección con el eje de abcisas o de longitud de fibras. El punto de intersección de dicho eje indicará la longitud media de las fibras. El **“Upper Half Mean Length (UHML)”** es la longitud media de la mitad superior que corresponde a las fibras más largas y se lee en la intersección con abcisas de la tangente trazada desde el punto de ordenadas 50%. Los **“Span Length (SL)”**, o **“longitudes subtendidas”** correspondientes a un porcentaje dado de fibras, p.ej. 50%, 25% ó 2.5%, de una muestra **“tuft**, es decir pinzada al azar, son parámetros de mucho interés para el hiladero de algodón, para establecer los ecartamientos de las máquinas. El **“Uniformity Index (UI)”** es la relación **ML / UHML** y el **“Uniformity Ratio (UR)”** es la relación **SL 50% / SL 2,5%** y ambos son valiosos indicadores de la uniformidad de la materia prima. El **“Short Fibre Content (SFC)”** es también otro parámetro muy importante ya que nos informa del porcentaje en peso de fibras de algodón más cortas de 0.5 pulgadas (12,7 mm), fibras estas que no contribuyen a la resistencia a la tracción del hilado y aumentan su pilosidad. En la Tabla 2.12. se dan algunos de los valores típicos de **UI** y **SL** utilizados para la evaluación de la calidad de la fibra de algodón.

Los equipos **HVI** (**“High Volume Instrument”**) miden en 30 segundos unas 15 propiedades de la fibra de algodón. Este equipo permite obtener rápidamente datos de todos los fardos de los lotes de materia prima, con lo que se pueden programar mezclas y obtener hilados más regulares y de mejor calidad.

TABLA 2.12

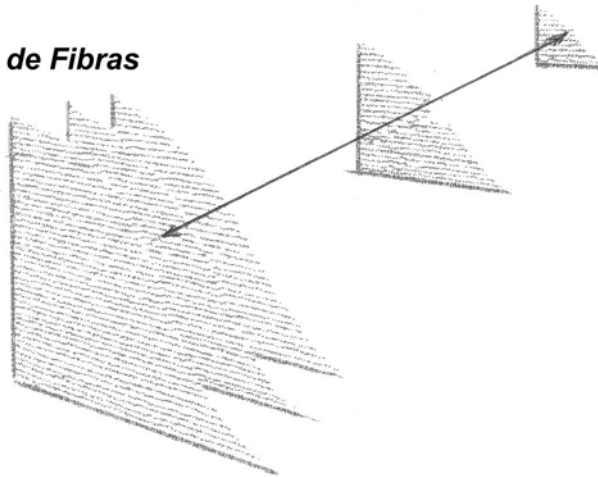
INDICE DE UNIFORMIDAD (U I) %	Características	“SPAN LENGTH” (SL al 2,5 %) en cm	Clasificación
>85	excelente	< 2,5	corto
83-85	muy uniforme	2,5 – 2,9	medio
80-82	uniforme	2,9 – 3,3	largo
77-79	irregular	3,3	extralargo
<77	muy irregular		

% de Fibras



Longitud de fibra

% de Fibras



% de Fibras



Longitud de segmentos de fibras
(longitudes subtendidas o "span length")

Longitud subtendida ("span length")

Figura 2.35 - Diagrama acumulado "Tuft"

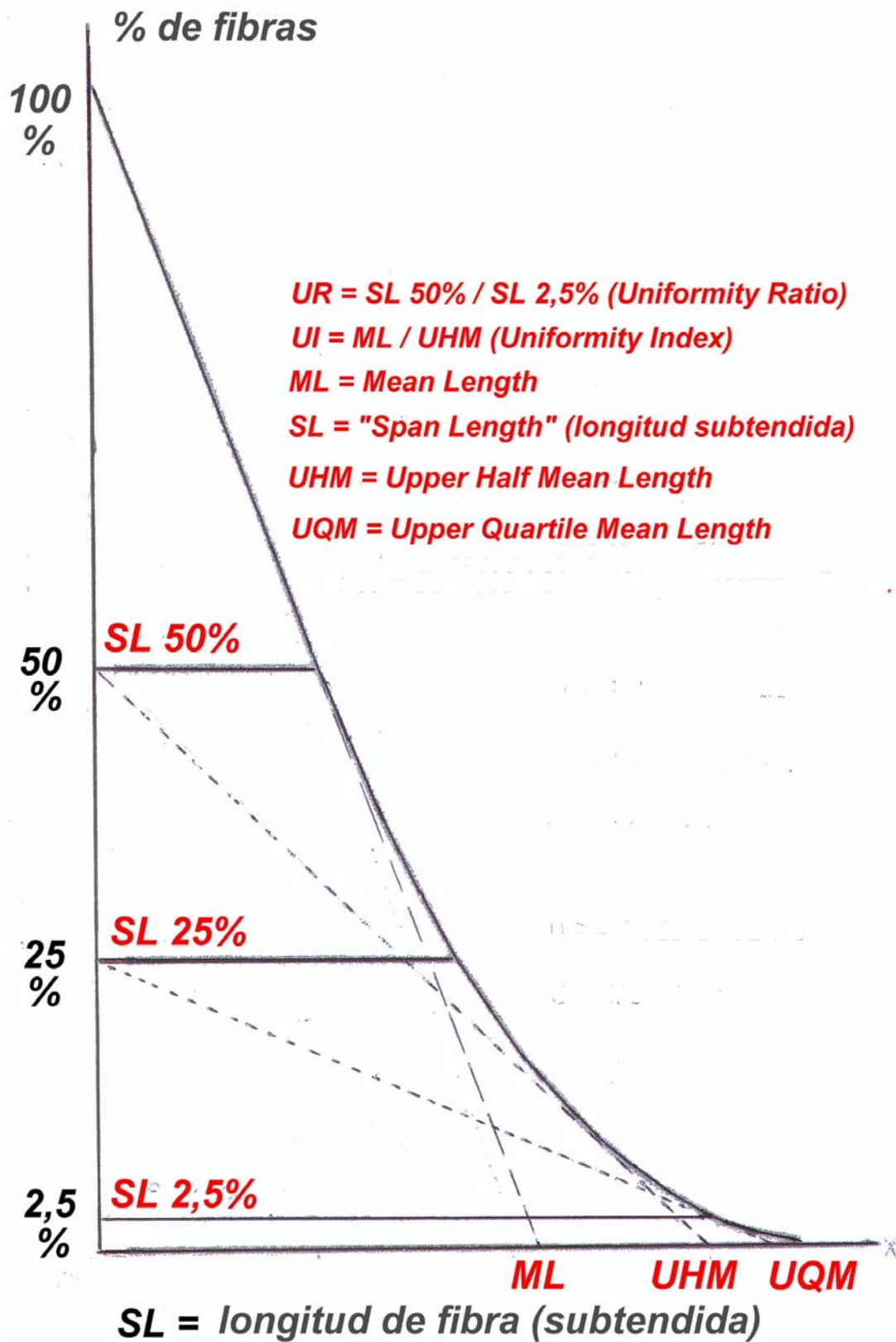


Figura 2.36 - Diagrama "Tuft" ("Span Length Diagram") de una muestra de algodón

2.5.7- Resumen

En las Figuras 2.37 se resumen los **diagramas** que hemos considerado en esta Sección. En la Tabla 2.13 se da un ejemplo práctico con valores supuestos para el trazado de este tipo de diagramas. En la Tabla 2.14 se resumen las características de algunos equipos de medición de longitud de fibras textiles.

FIGURAS 2.37

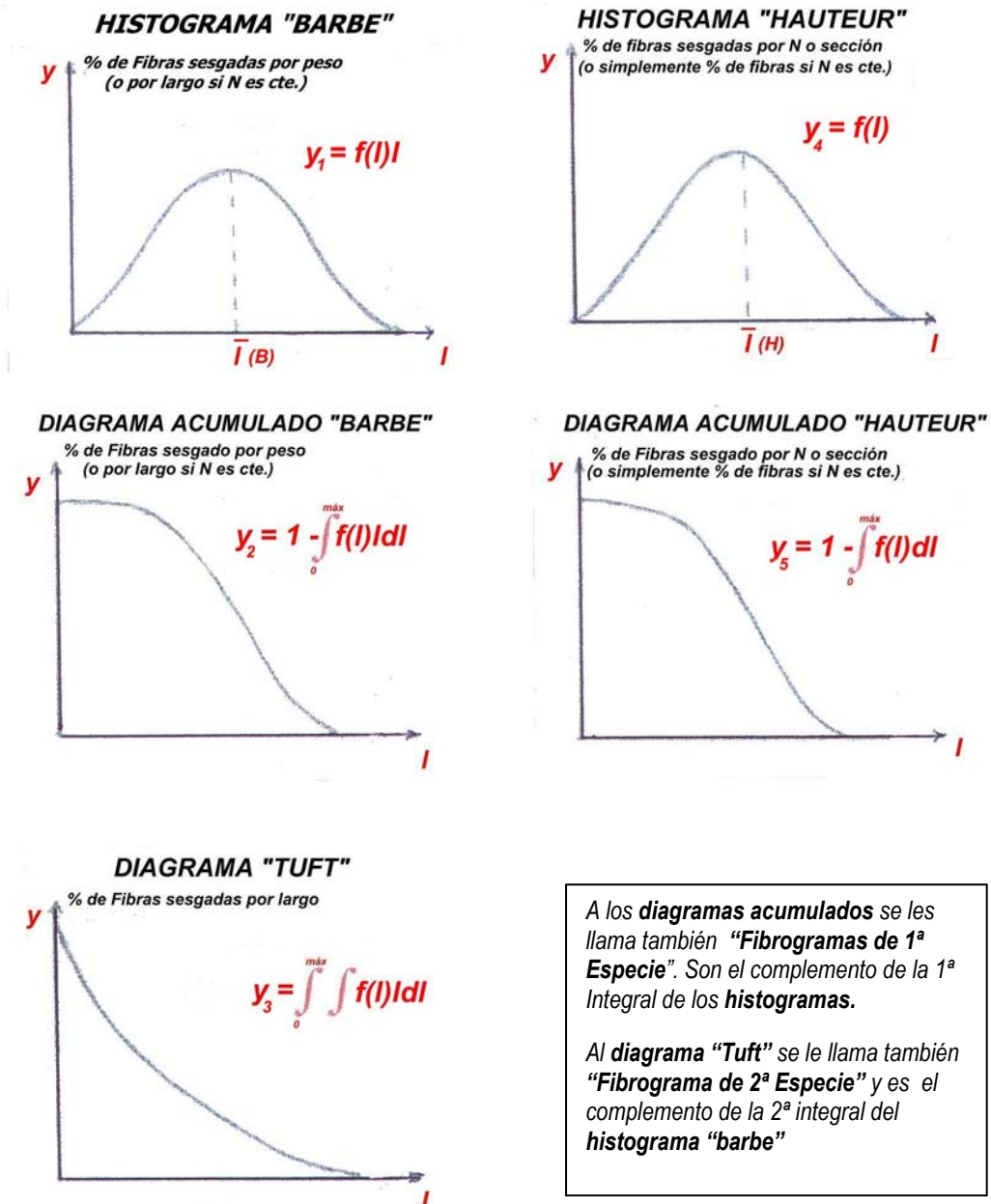


TABLA 2.13 - EJEMPLO DE VALORES CORRESPONDIENTES A HISTOGRAMAS Y DIAGRAMAS

1	2	3	4	5	6	7
Centro de clase de longitud l (cm)	Densidad lineal N_l (tex)	Frecuencia $f(l)$	Sumatoria de 3 $\sum_l^{max} f(l)$	Peso $l N_l f(l)$	Sumatoria de 5 $\sum_l^{max} l N_l f(l)$	Sumatoria de 6 $\sum_l^{max} \sum_l^{max} l N_l f(l)$
0.5	0.50	3	97	0.8	219.9	1216
1.5	0.50	8	94	6.0	219.1	996
2.5	0.51	16	86	20.4	213.1	777
3.5	0.52	24	70	43.7	192.7	564
4.5	0.54	18	46	43.7	149.0	371
5.5	0.56	12	28	37.0	105.3	222
6.5	0.58	8	16	30.2	68.3	117
7.5	0.61	6	8	27.4	38.1	49
8.5	0.63	2	2	10.7	10.7	11

La primera columna de la *Tabla 2.13* indica los valores centrales de cada clase de longitudes. Se ha establecido un intervalo de clase de un centímetro. Tomando, ordenadamente, pares de valores de las columnas primera y tercera obtendremos un histograma "hauteur". El diagrama acumulado "hauteur" se deduce de las columnas primera y cuarta. Con los sucesivos pares de valores de las columnas primera y quinta construimos un "histograma barbe" y con la primera y sexta columna, un "diagrama acumulado barbe". Finalmente, con las columnas primera y última obtenemos un diagrama "tuft".

TABLA 2.14 - Algunos equipos de medición del largo de las fibras textiles ("longuímetros")

EQUIPO	TIPO	FABRICANTE	FIBRA	Distribución de las fibras en la muestra	INFORMACIÓN OBTENIDA
"Baer Sorter"	fibrómetro de peines	-	todas	numérica	diagrama acumulado
"Suter-Webb Sorter"	fibrómetro de peines	SUTER	algodón	numérica	diagrama acumulado
"WIRA"	fibrómetro óptico	WIRA	"top" de lana	numérica	diagrama acumulado
"AFIS" (L&D)	medición óptica de fibras individuales	USTER	algodón	-	histograma y diagrama acumulado
"ALMETER AL 100"	fibrógrafo capacitivo	PEYER	"top" de lana	numérica	histograma y diagrama acumulado
"ALMETER AL 101"	fibrómetro de peines	PEYER	algodón	numérica	histograma y diagrama acumulado
"FIBROGRAPH 430"	fibrómetro óptico	SPINLAB/USTER	algodón	sesgada	diagrama "Tuft"
"CLASSIFIBER KCF/LS"	fibrómetro óptico	KEISOKKI	algodón	sesgada	diagrama "Tuft"
"HVI 900"	incl. fibrómetro óptico	SPINLAB/USTER	algodón	sesgada	diagrama "Tuft"
"HVI 3500/4000"	incl. fibrómetro óptico	PEYER	algodón	sesgada	diagrama "Tuft"



Figura 2.38 - **Equipo Peyer con muestra preparada para su lectura**



Figura 2.39 - **Histograma y Diagrama acumulado en monitor de equipo Peyer**

BIBLIOGRAFIA:

1. "Physical Methods of Investigating Textiles", R.Meredith, J.W.S.Hearle, Interscience, N.Y. 1959 (Capítulo 8: "Fibre Dimension", S.L.Anderson)
2. "Principles of Textile Testing", J.E.Boto, National Trade Press Ltd., London, 1961.
3. "Physical Testing of Textiles", B.P.Saville, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>
4. "Practical Statistics for the Textile Industry", G.A.V. Leaf, The Textile Institute, UK, 1984
5. "Análisis de las Características de Calidad en Fibras de Algodón", USTER News Bulletin, Nº 38, Marzo 1992.
6. "Estudio Técnico de los Parámetros de Longitud de Fibra de Algodón Determinados en los Modernos Longímetros", Antonia Sanchez Vigil, Feliu Marsal Amenos, UPC, Terrassa, (Barcelona), 1994.
7. "Length Related Properties". Cap. 2 en "Cotton Testing", Textile Progress, Vol. 27, Nº 1, The Textile Institute, 1997
- 8- "Peyer Publication 7.80-14.100"

2.6.0- El rizo de las fibras textiles

Algunas fibras naturales, como la lana, presentan **rizo** u ondulaciones a lo largo de su longitud. La medida del largo de la fibra *rizada* se conoce como "**extensión**" para diferenciarle de la medida del largo de la fibra *estirada*. En hilandería, cuando se deben establecer los "ecartamientos" o separaciones entre rodillos de estiraje y entre pinzas y peines en las peinadoras, es quizás más importante conocer la "**extensión**" que el *largo estirado* de la fibra.

El **rizo** influye en: **1)** la **voluminosidad** del hilado, la que a su vez influye en la capacidad de **aislación térmica** del artículo textil: el aire atrapado entre el rizo de las fibras limita la transmisión de calor por los mecanismos de convección; **2)** el **tacto** y en el **aspecto final** del artículo textil, especialmente el **lustre o brillo**; **3)** la **elasticidad**, la **cohesión interfibrilar** y la **resistencia a la abrasión** del hilado; **4)** la **absorción de agua** por mecanismos de capilaridad.

Por todas estas razones a las fibras artificiales y sintéticas, muchas veces se les inserta rizo artificial para que sus propiedades se asemejen a las de las naturales. Esto se logra, en el caso de los filamentos, por medio de los diversos procesos de **texturizado** y en las fibras cortadas por los de "**crimping**".

2.7.0- La forma de la sección de las fibras textiles

En las fibras hechas por el hombre, la **forma de la sección** puede ser establecida, dentro de ciertos límites, a gusto del fabricante. La **forma de la sección** tiene mucha importancia pues influye en: **1)** la **compactación** de las fibras en el hilado, **2)** en el **brillo** (o *lustre*) y en el **tacto** del artículo final, **3)** la "**ensuciabilidad**", pues según la forma de la sección las partículas de suciedad se pueden "esconder" o no, **4)** la capacidad de **absorción de colorantes** debido a la variación del área de intercambio.

Como algunos fabricantes le imprimen formas características a la sección, la observación microscópica es útil para identificar el tipo y origen de la fibra.

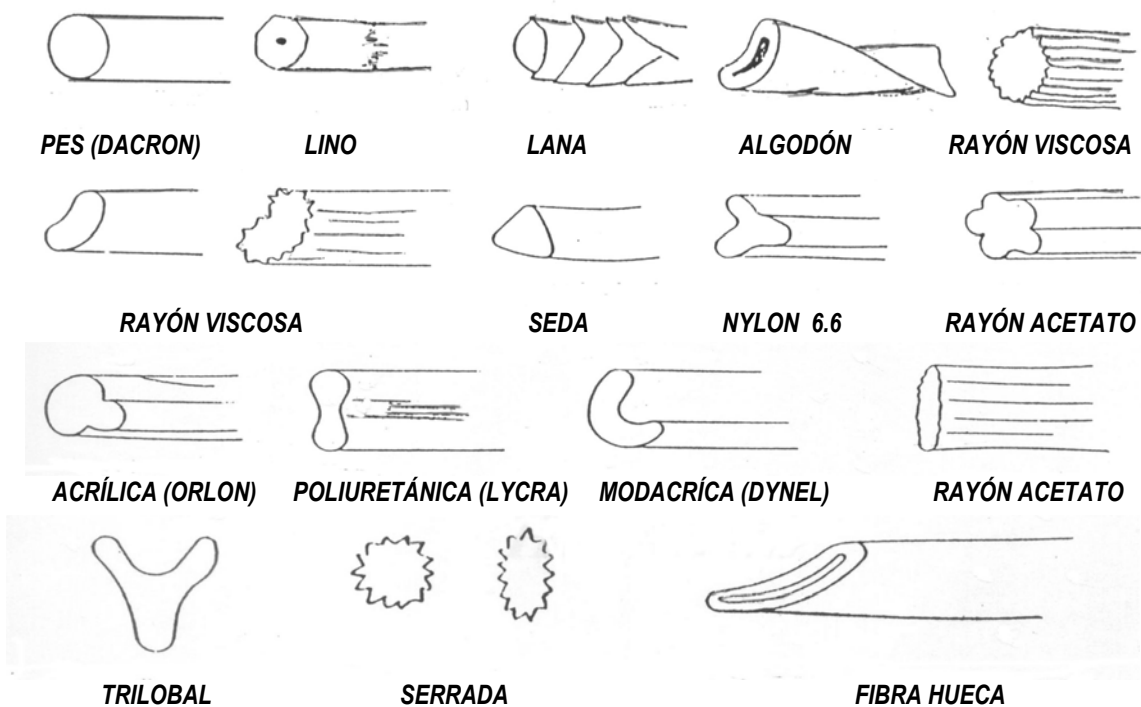


Figura 2.40

2.8.0- La rugosidad superficial de las fibras textiles

La rugosidad superficial es una de las propiedades fundamentales de las fibras textiles pues al ofrecer resistencia al deslizamiento de una sobre otra, permite que sean hilables. La determinación de los índices de fricción estáticos y dinámicos se hace en aparatos especiales, midiendo la tensión antes y después de frotar consigo mismo un hilado hecho con la fibra a ensayar. Los valores se transmiten (a través de un "transducer") a una computadora y a un equipo de registro. Con estos aparatos se puede también evaluar la eficacia de los lubricantes y los ensimajes utilizados en algunas operaciones de hilatura como el cardado y el peinado.

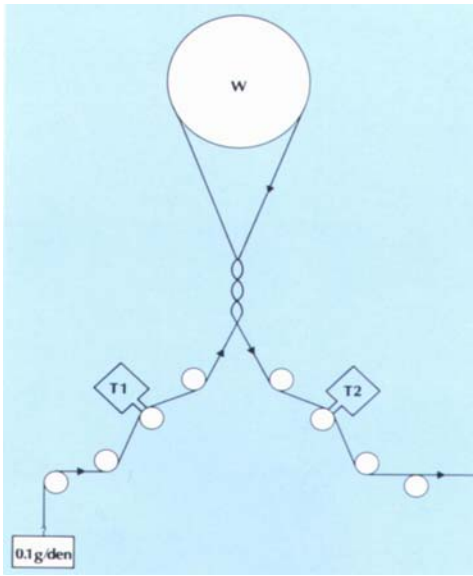


Figura 2.41



Figura 2.42

tomadas de folleto comercial de la empresa Shell

La fricción generada cuando el hilado pasa sobre si mismo o sobre otra superficie es proporcional al ángulo de contacto:

$$t_2 / t_1 = e^{\mu\theta} \quad (\text{Ley de Amontow})$$

donde:

μ = coeficiente de fricción

θ = ángulo de contacto, en radianes

t_1 = tensión antes del contacto

t_2 = tensión después del contacto

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Wool Shrinkage and its Prevention", R.W.Moncrieff, The National Trade Press Ltd. 1953, London
- 2- "Friction in Textiles", H.G.Howell, K.W.Mieszki, D.Tabor, The Textile Institute, Butterworths Scientific Publications, London, 1959
- 3- "Yarn Friction Studies with SITRA Friction-measuring Device". J. of The Textile Institute, vol.79, N° 1, 1988, p. 147-151
- 1- "The Friction of Polyester Staple Fibres", M Grobins et al., Journal of the Textile Institute, vol.79, N° 1, 1988, p. 127-139

4.0.0- HIGROSCOPICIDAD

Una fibra textil mantenida en una atmósfera de humedad y temperatura constante alcanzará, al cabo de un tiempo, un equilibrio dinámico con dicha atmósfera, absorbiendo o perdiendo una cierta cantidad de humedad.

El contenido de humedad de la fibra, correspondiente a una dada temperatura (T) y una dada humedad relativa atmosférica (HR %), se conoce como el "*regain*" o "*reprise*" de la fibra y se expresa en *% sobre base seca*.

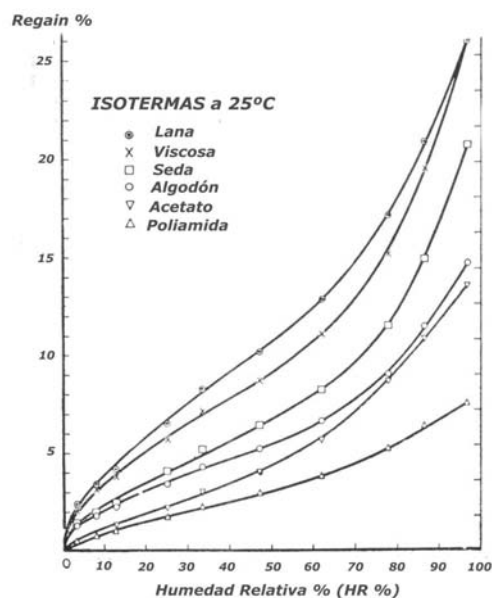
Las propiedades físicas de la fibra, y especialmente las mecánicas, dependen en gran medida de su contenido de humedad. Por tanto, para que sean comparables, las mediciones de esas propiedades físicas deben realizarse luego que el material textil alcanzó un equilibrio con la atmósfera del laboratorio. Generalmente la temperatura y la HR % del laboratorio se regulan a valores estándares: 20°C y 65 % de HR, respectivamente. La cantidad de agua absorbida por la fibra, es decir su "*regain*", dependerá del grado de cristalinidad y del tipo y cantidad de *grupos polares* presentes.

Tabla 2.20 b

FIBRA	Regain % 20°C, 65%HR	Cristalinidad	Grupos Polares
LANA	15 - 16	+	-NH ₂ -COOH -NHCO- -OH
SEDA	9 - 11	++	-NH ₂ -COOH --NHCO- -OH
VISCOSA	13 - 14	(+)	-OH
ALGODÓN	8 - 12	+++	-OH
POLIAMIDA	4 - 6	++	-NH ₂ -COOH -NHCO-
POLIESTER	0,3 - 0,6	+++	-COOC-
POLIPROPILENO	0,1	+++	-

La higroscopicidad depende del tipo de grupo funcional polar y disminuye en el orden siguiente:
-OH, -NH₂, -NHCO-, -COOH, -CN, COOC-, -O-

Para una dada *temperatura*, la variación del "*regain*" en función de la humedad relativa del aire ambiente es representada por una curva de forma sigmoide o curva *isoterma*. Para las fibras higroscópicas hay, en general, dos *isotermas*, una de "humectado" y otra de "secado". Es decir, el "*regain*" no solo depende de la temperatura y humedad ambiente sino también de la "*historia*" de la fibra. Este fenómeno, que se conoce como "*histéresis*", resulta de la diferencia entre la velocidad de formación de las uniones de los grupos polares de la fibra con las moléculas de agua cuando "humectamos" y, la de rotura de las mismas uniones cuando "secamos".



Figuras 2.59 y 2.60

A pesar de que la lana es más higroscópica que el algodón, éste es preferido para utilizarlo como material absorbente en artículos para el hogar (*toallas, repasadores, etc.*) y en medicina (*compresas, algodón hidrófilo, etc.*). Esto es debido a diferencias de *velocidad de absorción*. La lana absorbe agua líquida mucho más lentamente que el algodón a causa de su cutícula hidrófoba externa que constituye una barrera que las moléculas de agua debe vencer a lo largo de un cierto tiempo.

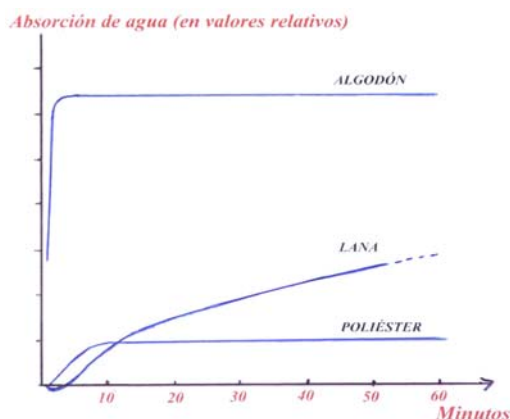


Figura 2.61

Es importante señalar que estamos considerando solo el agua fijada a la fibra químicamente, o agua de *hinchamiento*, pero un textil puede fijar también agua por *capilaridad* y por *adhesión superficial*. El secado industrial de tejidos se hace por exprimido mecánico primero y luego por secado térmico, y es en general una operación costosa que incide en forma importante en los costos finales.

4.1.0- La absorción de humedad y las temperaturas de transición

Los polímeros en general presentan dos temperaturas de transición: T_a y T_c y siempre T_a es menor que T_c . Si elevamos la temperatura por encima de T_a las *regiones amorfas* comienzan a pasar del estado sólido a uno plástico viscoso y el material se hace dúctil y deformable. Al bajar nuevamente la temperatura, el material queda fijado en la forma que se le haya impuesto. Si elevamos la temperatura por encima de T_c , las *regiones cristalinas* comienzan a transformarse en amorfas y luego finalmente a ablandarse de tal manera que el material pierde totalmente su resistencia mecánica. Cuanto más alto el PM y más hidrófilo sea el polímero, más altas serán sus temperaturas de transición T_a y T_c . Las fibras textiles naturales, como el algodón y la lana, de *muy alto peso molecular y muy hidrófilas*, tendrán temperaturas de transición muy altas y estas fibras se quemarán en el aire antes de alcanzar dichas temperaturas. Esta situación es aún más extrema en el caso de la lana, ya que las queratinas presentan cierto grado de *polimerización tridimensional o "cross linking"*.

Tabla 2.21

FIBRA	Cristalinidad	Regain" %	Hinchamiento %	T_a °C	T_c °C
VISCOSA	+	14	65	-	-
LANA		16	26	-	-
ALGODÓN	+++	8	21	-	-
SEDA	++	11	19	-	-
DIACETATO		6	8	160	200
ACRÍLICA	+	2	5	80	200
POLIAMIDA	++	4	3	50	225
POLIÉSTER	++	0,4	1	80	225
POLIETILÉNICA	+++	0,5	-	-25	110

Dentro del entorno de temperaturas T_a y T_c las fibras textiles artificiales y sintéticas son **termoplásticas**, es decir se puede modificar su forma. Es el caso, por ejemplo, del **termofijado** de las telas tejidas con filamentos de poliamidas o poliéster. Si pasamos estas telas bajo tensión, estiradas a lo ancho, por un túnel de aire caliente o "rama", y luego las enfriamos nuevamente, quedarán con ese ancho mayor fijado.

Los artículos textiles hechos con fibras naturales, como el algodón y la lana, al tener T_a y T_c tan altas no pueden "**plastificarse**" por elevación de la temperatura pues, como ya lo mencionamos, se quemarían. Pero si pueden ser "**plastificadas**" **humedeciéndolas**. Es el caso del planchado en caliente, que se realiza mucho mejor humedeciendo las telas de algodón o de la lana. En el caso de la lana, la acción combinada de humedad y calor es más compleja, pues puede producir cambios químicos estructurales en la molécula de queratina que permiten fijar dimensiones y formas más duraderas (ver Capítulo 3 "Propiedades de la fibra lana").

4.2.0- La absorción de humedad es exotérmica

La **cantidad de calor** que, en general, un cuerpo sólido puede emitir al absorber humedad dependerá de: **1)** la naturaleza química del cuerpo absorbente, **2)** la cantidad de humedad que poseía previamente ("**regain**" previo), **3)** la cantidad de humedad absorbida actualmente y, **4)** si la humedad absorbida está en fase vapor o en fase líquida.

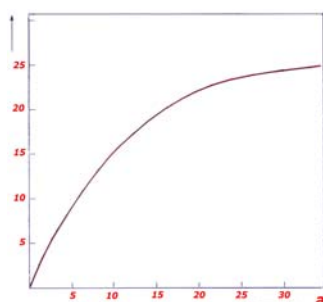
Se define el **calor integral de absorción** como el calor **liberado** por una masa **finita** de material **seco** al absorber suficiente cantidad de agua (**líquida o vapor**) para elevar su "**regain**" de **0** a **a**. Se define el **calor integral de imbibición** como el calor **liberado** por una masa **finita** de material a un dado **a**, al absorber agua (**líquida o vapor**) hasta **saturación**.

Calor integral de absorción ($H_L^{0 \rightarrow a}$, $H_V^{0 \rightarrow a}$)												
0	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	a ₁₀	→	a _{sat} (∞)
Calor integral de imbibición ($H_L^{0 \rightarrow \infty}$, $H_L^{a \rightarrow \infty}$, $H_V^{0 \rightarrow \infty}$, $H_V^{a \rightarrow \infty}$)												

Los calores integrales son aditivos, p. ej.: $H_L^{0 \rightarrow a} + H_L^{a \rightarrow \infty} = H_L^{0 \rightarrow \infty}$ y se miden, p.ej., en **cal/g de material**.

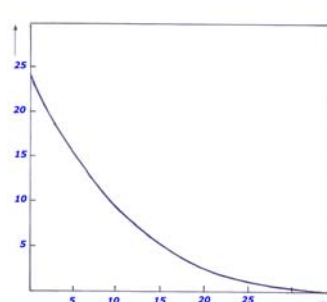
Figuras 2.62 y 2.63

$H_L^{0 \rightarrow a}$



$H_L^{0 \rightarrow a}$ y $H_V^{0 \rightarrow a}$ aumentan con **a**

$H_L^{a \rightarrow \infty}$

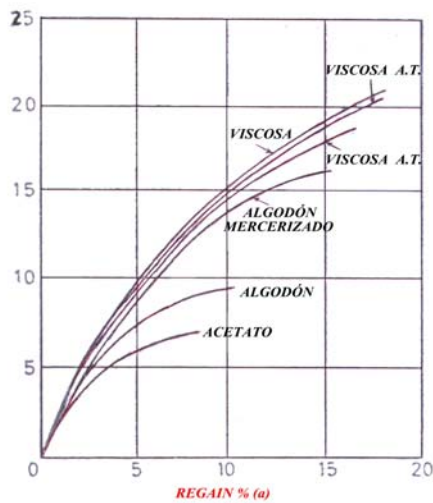
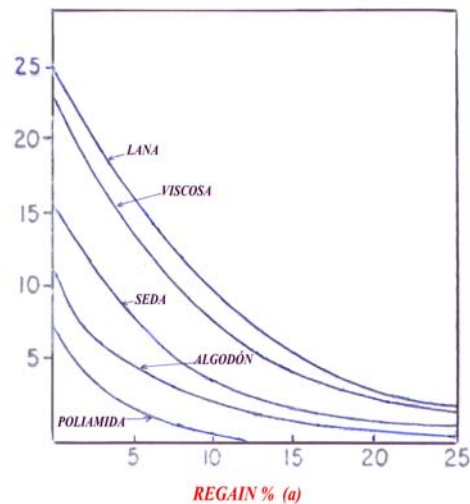


$H_L^{a \rightarrow \infty}$ y $H_V^{a \rightarrow \infty}$ disminuyen con **a**

$H_V^{0 \rightarrow \infty} = H_L^{0 \rightarrow \infty} + a_{sat} L$	$H_V^{0 \rightarrow a} = H_L^{0 \rightarrow a} + a L$	$H_V^{a \rightarrow \infty} = H_L^{a \rightarrow \infty} + (a_{sat} - a) L$
---	---	---

$L =$ Calor latente de vaporización (582 cal por g de agua absorbida a 25°C)

Siempre $H_V > H_L$

$H_L^{0 \rightarrow a}$ (cal / g de fibra)

 $H_L^{0 \rightarrow \infty}$ (cal / g de fibra)


Figuras 2.64 y 2.65

Se define el **calor diferencial de absorción de agua** (Q), como el calor liberado por una masa **infinita** de material con un dado "regain" a , cuando absorbe una **unidad de masa de agua**. Se expresa generalmente en **cal/g de agua absorbida**.

Si esa masa infinita de material pasa de un "regain" a a un "regain" $a + da$, el calor liberado será $Q_L \cdot da$ ó $Q_V \cdot da$, según se absorba agua líquida o agua vapor.

Los **calores integrales** serán entonces:

$$H_L^{0 \rightarrow a} = \int Q_L da \quad H_V^{0 \rightarrow a} = \int Q_V da$$

$$H_L^{a \rightarrow \infty} = \int Q_L da \quad H_V^{a \rightarrow \infty} = \int Q_V da$$

Los **calores diferenciales** Q corresponden a las pendientes de las curvas de $H_L^{0 \rightarrow a}$, $H_V^{0 \rightarrow a}$, $H_L^{a \rightarrow \infty}$ y $H_V^{a \rightarrow \infty}$ vs. a que se muestran más arriba:

$$Q_L = + d(H_L^{0 \rightarrow a}) / da ; \quad Q_V = + d(H_V^{0 \rightarrow a}) / da \text{ (pendientes positivas)}$$

$$Q_L = - d(H_L^{a \rightarrow \infty}) / da ; \quad Q_V = - d(H_V^{a \rightarrow \infty}) / da \text{ (pendientes negativas)}$$

Q_V será siempre mayor que Q_L

¿Qué significado físico tienen los calores diferenciales y los calores integrales?

El calor diferencial es en cierto modo una medida del calor necesario para separar una molécula de agua absorbida por una masa muy grande de material absorbente. Da una idea de las fuerzas de atracción o enlace entre la molécula de agua y los grupos polares de las moléculas del absorbente, p.ej. entre una molécula de agua y los grupos -OH de la celulosa.

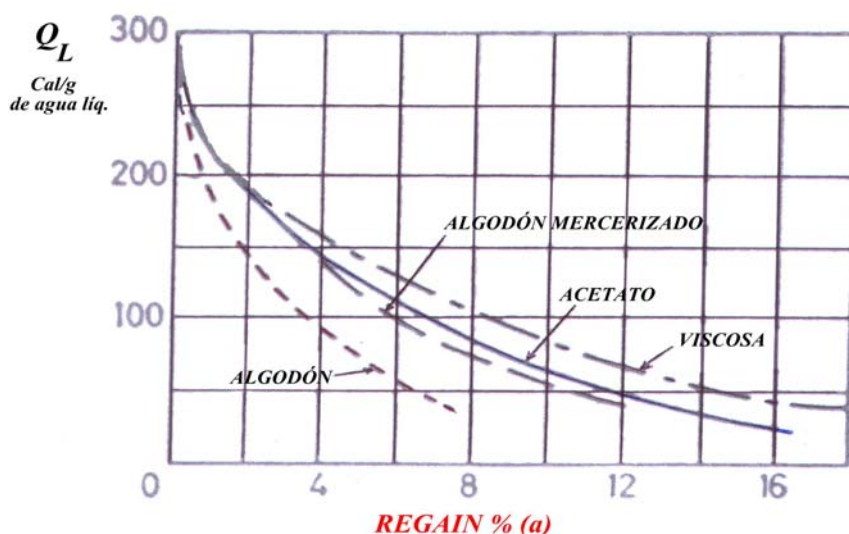


Figura 2.66

Como se puede apreciar en la Figura 2.66 Q disminuye al aumentar a pues al ocuparse gradualmente más grupos polares con moléculas de agua, la fuerza de atracción por una nueva molécula de agua será menor. Vemos que a sequedad, o "regain" $a = 0$, Q_L es el mismo para el algodón y la viscosa y tiene un valor constante (294 cal/g agua líq.; 876 cal/g de vapor de agua; 15,7 kcal/mol de vapor de agua). Este valor coincide con los correspondientes a los calores de hidratación de los grupos hidroxilos (-OH) y carboxilos (-COOH).

Las áreas por debajo de las curvas de Q vs. a corresponderán a los calores integrales de absorción $H_L^{0 \rightarrow a}$. Vemos que, si bien el algodón y la viscosa tienen igual Q_L cuando $a = 0$, el área por debajo de la curva de la viscosa es casi el doble que la correspondiente al algodón, es decir, el calor integral de absorción $H_L^{0 \rightarrow a}$ de la viscosa es mayor por tener más zonas amorfas y más -OH disponibles que el algodón.

Los **calores integrales** son entonces función de la cantidad de grupos polares disponibles en el material absorbente y se pueden determinar experimentalmente por calorimetría. Los **calores diferenciales**, luego, se calculan a partir de esos datos.

Tabla 2.22

SÍMBOLO	NOMBRE	CALOR LIBERADO	UNIDADES
Q_L	Calor Diferencial de Absorción para el agua líquida	por una masa <i>infinita</i> del material, a "regain" a , al absorber una <i>unidad de masa de agua líquida</i>	calorías por gramo de agua líquida
Q_V	Calor Diferencial de Absorción para el vapor de agua	por una masa <i>infinita</i> del material, a "regain" a , al absorber una <i>unidad de masa de vapor de agua</i> .	calorías por gramo de vapor de agua
$H_L^{0 \rightarrow a}$	Calor Integral de Absorción para el agua líquida	por una masa <i>finita</i> de material seco al absorber <i>agua líquida</i> hasta "regain" a	calorías por gramo de material seco
$H_V^{0 \rightarrow a}$	Calor Integral de Absorción para el vapor de agua	por una masa <i>finita</i> de material seco al absorber <i>vapor de agua</i> hasta "regain" a	calorías por gramo de material seco
$H_L^{a \rightarrow \infty}$	Calor Integral de Imbibición para el agua líquida	por una masa <i>finita</i> de material a "regain" a al absorber <i>agua líquida</i> hasta <i>saturación</i>	calorías por gramo de material seco
$H_V^{a \rightarrow \infty}$	Calor Integral de Imbibición para el vapor de agua	por una masa <i>finita</i> de material a "regain" a al absorber <i>agua líquida</i> hasta <i>saturación</i>	calorías por gramo de material seco
$H_L^{0 \rightarrow \infty}$	Calor Integral de Imbibición para el agua líquida	por una masa <i>finita</i> de material <i>seco</i> al absorber <i>agua líquida</i> hasta <i>saturación</i>	calorías por gramo de material seco
$H_V^{0 \rightarrow \infty}$	Calor Integral de Imbibición para el vapor de agua	por una masa <i>finita</i> de material <i>seco</i> al absorber <i>vapor de agua</i> hasta <i>saturación</i>	calorías por gramo de material seco

LA ABSORCIÓN DE HUMEDAD DE LA LANA

REGAIN %	CALOR INTEGRAL DE ABSORCIÓN $H_L^{0 \rightarrow a}$ cal / g de lana	CALOR DIFERENCIAL DE ABSORCIÓN Q cal / g de agua
0	24,1	204
5	15,4	149
10	9,1	103
15	4,9	66
20	2,4	38
25	1,0	24
30	0,27	10
33	0,0	0

4.3.0- El confort de los artículos de lana

El confort de una prenda o artículo textil depende, en gran medida, del calor liberado como resultado de la humedad que es capaz de absorber. La lana, que es la fibra textil con mayor "regain", es la que más calor libera por unidad de peso. Un kg de lana libera aproximadamente 83 Kcal al pasar de una atmósfera a 20°C y 40% de HR a otra de 10°C y 90% HR¹. Esta cantidad de calor es, aproximadamente, la que libera en una hora el metabolismo de un ser humano adulto.

La lana tiene entonces una gran capacidad de abrigo: 1) porque su *coeficiente de conductividad térmica* es bajo, 2) porque la presencia de *rizo* hace que se formen pequeñas celdas de aire que minimizan las pérdidas de calor por *convección* y, 3) porque cuando una persona que viste una prenda de lana sale de una atmósfera caliente y seca, a otra fría y húmeda, la prenda libera calor y *amortigua* los efectos negativos del enfriamiento brusco. La humedad que luego va liberando el cuerpo humano es también absorbida por la lana que continúa generando calor y creando un cálido "microclima portátil".

Las alfombras y tapices de lana mantienen también un ambiente cálido y seco, aún cuando dicho ambiente esté en comunicación frecuente con el exterior frío y húmedo, como ocurre en lugares públicos cuyas puertas se abren frecuentemente para dejar entrar y salir a las personas. Las alfombras y tapices de lana actúan en cierto modo como receptáculos de humedad y liberadores de calor.

4.4.0- Super Absorbentes

Las propiedades de hidrofobicidad o hidroafinidad de las fibras textiles tienen diversas aplicaciones prácticas. Por ejemplo, la fibra polipropilénica, que es de muy bajo regain (0,05%) y presenta el "*efecto mecha*" (*el agua pasa rápidamente a través de ella sin dejar sensación de humedad*) se utiliza en la elaboración de tela "no tejida" o "guata" para confeccionar pañales o apósitos descartables. Colocando la tela de polipropileno del lado que va contra la piel, el "efecto mecha" mantendrá a esta siempre seca.

¹ El calor liberado por un textil se puede estimar conociendo sus isotermas de absorción y su curva de $H_V^{0 \rightarrow a}$ vs. a . Para cada temperatura obtenemos de las correspondientes isotermas los "regain" a correspondientes a una dada HR %. Calculamos el Δa y en la curva de $H_V^{0 \rightarrow a}$ vs. a obtenemos el ΔH_V para ese Δa .

Para absorber y retener los fluidos acuosos, entre la guata de polipropileno, aplicada contra la piel, y una tela externa impermeable – generalmente de poliamida - se colocaba antiguamente una capa de fibras de algodón o de viscosa. Unos años después se desarrollaron productos capaces de absorber mucho más cantidad de agua que el algodón como p.ej. la *pulpa de celulosa*, obtenida de la madera por medio de procesos especiales de separación y purificación, que es capaz de absorber varias veces más agua que el algodón. La fibra *viscosa SI*, desarrollada por la empresa *Courtaulds*, inflada y contraída durante su fabricación, es también capaz de absorber tres veces mas agua la fibra viscosa standard. Sin embargo recientemente se han desarrollado materiales *súper absorbentes* o "*SAPs*" ("*superabsorbent polymers*") capaces de absorber hasta 1000 veces su propio peso de agua. Por ejemplo, un pañal conteniendo un 90% de pulpa de celulosa puede pesar 40 gramos mientras que otro, de absorción equivalente pero conteniendo un *SAP*, puede pesar entre 3 y 5 gramos. Esto permite hacer el pañal o apósito mas chico, más cómodo y que pase más desapercibido. Esto último es de gran importancia en apósitos para adultos, pañales geriátricos, etc. Los *SAPs* se presentan en forma de polvo o de fibras y los mas conocidos, hasta ahora, son derivados de la *celulosa*, del *almidón*, de *acrilamidas* o del *ácido acrílico*. Otros usos muy importante de los *SAPs* es su aplicación en *prendas deportivas*, en *agricultura* - donde se usan para mejorar la germinación de semillas y mejorar la retención del agua en suelos – y en la *industria*, p. ej. en la elaboración de baterías, filtros, purificación de efluentes, filtros, etc. Los *SAPs* son también muy efectivos para la remoción de olores.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- *"El Efecto Termostatizador de los Textiles". A.B.D.Cassie, J.Textile Institute,31, T17 (1940)*
- 2- *"Moisture in Textiles", J.W.S. Hearle, R.H. Peters, The Textile Institute, Butterworths Sci. Publ., 1960.*
- 3- *"Lana en Arquitectura y Diseño de Interiores", International Wool Textile Organization (IWTO), 1911*

5.0.0- PROPIEDADES MECÁNICAS

5.1.0- Deformación de cuerpo elástico

Un cuerpo sólido, como una barra de hierro suspendida de una superficie plana, sometida a una carga P , sufre una deformación o estiramiento dx , hasta que se llega a un equilibrio entre la fuerza externa P y las fuerzas internas p de cohesión del cuerpo, constituidas por fuerzas intermoleculares y fuerzas intramoleculares (*energía de los enlaces químicos*).

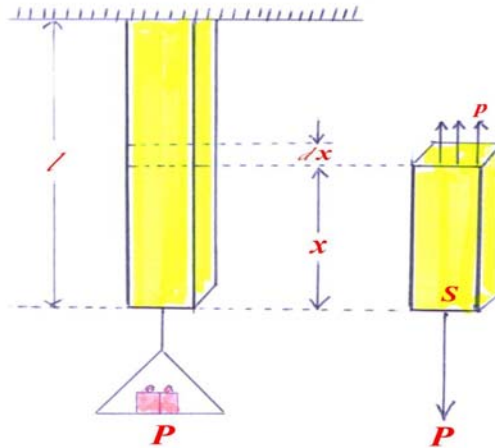
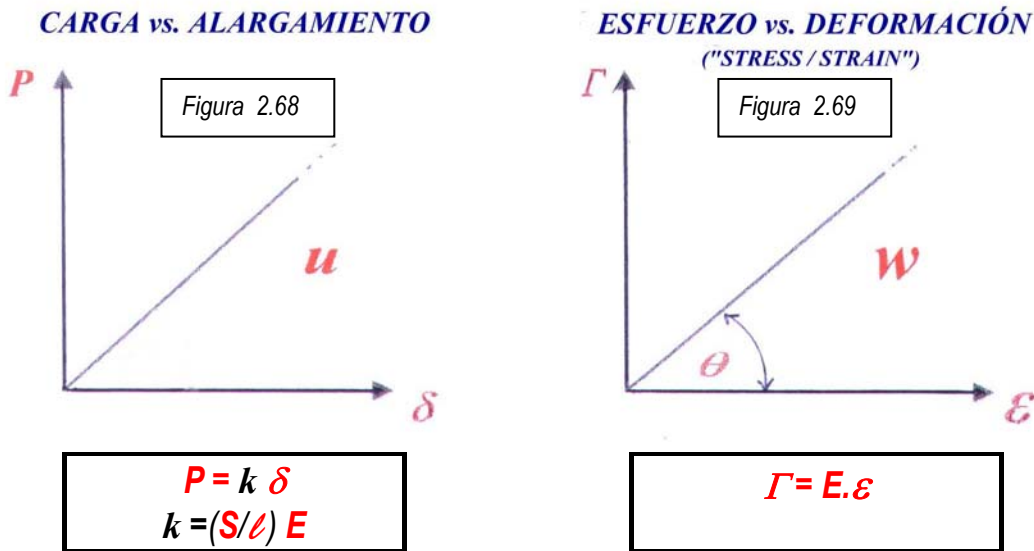


Figura 2.67

Dentro de ciertos límites, la deformación o alargamiento es proporcional a la fuerza extensora aplicada y, en ese caso, hay **comportamiento elástico perfecto** y se cumple la **Ley de Hooke**:



P : carga, en *kgf, lbf*, etc.

δ : alargamiento, en *cm, in*, etc.

l longitud inicial del cuerpo, en *cm, in*, etc.

S : sección inicial del cuerpo, en *cm², in²*, etc.

$\Gamma = P/S$, esfuerzo tensor unitario o fatiga tensora unitaria ("stress"), *kg/cm², lb/in²*, etc.

$\epsilon = \delta/l$ deformación unitaria ("strain"). Adimensional, se expresa en % de la longitud original.

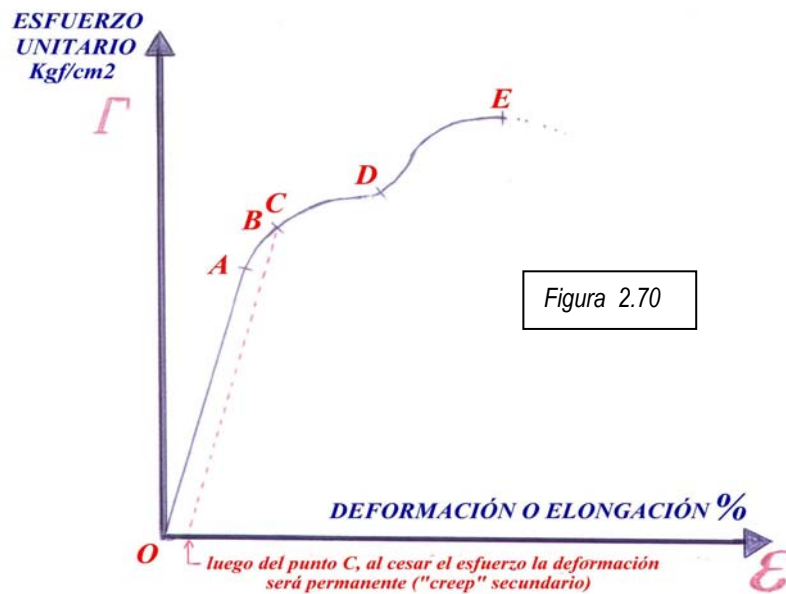
$E = \Gamma/\varepsilon$; es el **módulo de elasticidad** o **módulo de Young** del material. Es la tangente del ángulo θ (cuanto mayor θ , mayor será E y menor la deformación para una dada carga), en p.ej. kgf/cm^2 , N/cm^2 , lbf/cm^2 , etc. El módulo de Young es el mismo tanto para tensión como para compresión. Para los esfuerzos cortante y torsional corresponden un módulo de rigidez y torsional, respectivamente.

$u = P\delta/2$, el área por debajo de la línea P vs. δ , tiene las dimensiones de una **fuerza por longitud** y es el **trabajo de deformación**, que se puede medir en, p.ej., kgf.cm , lbf.in. , etc. Cuando P es retirada, la energía u es devuelta como calor.

$W = \Gamma\varepsilon/2$, el área por debajo de la línea Γ vs. ε es el **trabajo de deformación por unidad de volumen del material** (u/V), ya que $W = u/V = P\delta/2V = P\delta/2S\ell = \Gamma\varepsilon/2$. Se puede medir en p.ej. kgf.cm^{-2} , lbf.in^{-2} , etc. (Figuras 2.68 y 2.69).

5.2.0- El Diagrama Esfuerzo/ Deformación (Γ vs. ε)

En general, el “**Diagrama Esfuerzo-Deformación**” (“*stress-strain diagram*”) de cualquier cuerpo sólido bajo ensayo, se traza generalmente hasta la rotura del material más allá del **comportamiento elástico perfecto**, es decir más allá del cumplimiento de la **Ley de Hooke** (Figura 2.70)



A- Límite de Proporcionalidad de Γ vs. ε . En el tramo **OA** se cumple la Ley de Hooke. Hay **elasticidad perfecta**: al cesar el esfuerzo Γ el cuerpo recupera su dimensión inicial en forma instantánea (*tiempo cero, idealmente*). **La elasticidad perfecta es una de las características del estado sólido cristalino.**

B- Límite de Recuperación Elástica. En el tramo **AB** ya no hay proporcionalidad de Γ vs. ε . Al cesar el esfuerzo Γ el cuerpo recupera su dimensión inicial no ya en forma instantánea sino en un dado tiempo: hay **elasticidad completa imperfecta**, y una “pereza” del material o “creep” primario

C- Punto de Fluencia (“yield point”). Está ubicado inmediatamente después del **límite de recuperación elástica B**. A partir del punto **C** se van destruyendo zonas cristalinas y aumentan la

amorficidad del material. Al cesar el esfuerzo, el cuerpo no recupera sus dimensiones originales: queda con una *deformación permanente* o “creep” secundario (*sería un comportamiento elástico incompleto e imperfecto*). En el tramo **CD**, con pequeños incrementos de Γ se producen grandes cambios de ε .

D- A partir de este punto, al continuar aplicándose esfuerzo, puede producirse un reordenamiento molecular con un nuevo aumento de la resistencia del material. Vemos que en un corto tramo, para lograr pequeños aumentos de ε se nuevamente se necesitan grandes aumentos de Γ

E- Punto de Rotura (“*resistencia tensil a la rotura*, “*strength*”). La resistencia del material aumenta lentamente, luego se estabiliza hasta llegar al punto máximo **E** para, luego, disminuir rápidamente y romperse.

El *dinamómetro* utilizado para trazar el *diagrama de esfuerzo/deformación* puede operar a *velocidad de carga constante (VCC)* o a *velocidad de elongación constante (VEC)* y el diagrama resultante será distinto en cada caso. La *temperatura* y la *humedad relativa ambiente* también influyen en el trazado de los diagramas, especialmente en el caso de las *fibras textiles* y por tanto las mediciones deben hacerse siempre en condiciones estándar (20°C, 65% de HR). Se debe tener también en cuenta que, a medida que la deformación ε aumenta, la sección **S** del cuerpo disminuye. El esfuerzo Γ , sin embargo, se refiere siempre a la sección **S** inicial. Los diagramas Γ vs. ε caracterizan a cada material:



Figura 2.71

5.3.0- Comportamiento elástico y plástico

Supongamos un cuerpo cilíndrico de longitud original **AB** que se estira hasta adquirir las dimensiones **AD**:



Figura 2.72

AB: longitud original, **BD**: extensión total, **CD**: extensión elástica, **BC**: deformación permanente

Tabla 2.23

ELASTICIDAD PERFECTA	Si $CD = BD$ ó $CD/BD = 1$ con recuperación instantánea
ELASTICIDAD IMPERFECTA (COMPLETA)	Si $CD \neq BD$ ó $CD/BD < 1$ a t_1 y $CD = BD$ ó $CD/BD = 1$ a t_2 (BC representa el “creep” primario durante el tiempo $t_2 - t_1$)
ELASTICIDAD IMPERFECTA (INCOMPLETA)	Si $CD \neq BD$ ó $CD/BD < 1$ en forma permanente (BC , representa la deformación permanente o “creep” secundario) Algunos materiales presentan “creep” primario y secundario
ÍNDICE DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA	CD / BD

El **comportamiento elástico perfecto** o “**hookesiano**” es característico del estado **sólido cristalino**. El **comportamiento plástico**, o de elasticidad imperfecta, es característico del estado **sólido amorfo**.

Los filamentos aislados o varios de ellos (*p.ej. hilados de multifilamentos*) pueden estar sometido a esfuerzos que producen extensiones o elongaciones mucho mayores al 5%. En cambio, un **hilado** de fibras discontinuas (*de fibras cortas o cortadas*) puede elongarse y romperse antes de que las fibras individuales que lo componen alcancen una extensión o elongación del **5%**, pues la resistencia a la tracción del hilado depende principalmente de la cantidad de fibras por sección, la fricción interfibrilar y la cantidad de torsión aplicada. Para las fibras discontinuas no tiene entonces mucho sentido considerar extensiones mayores al 5%. En cambio sí tiene importancia conocer el comportamiento **hasta** el 5% de extensión. El **índice de recuperación elástica (IRE), a 20°C y 65% de HR, hasta el 5% de extensión** es, entonces, un dato muy importante a tener en cuenta para las fibras textiles naturales y las fibras químicas cortadas. En la *Tabla 2.24* se dan valores del **IRE al 1, 3 y 5% de extensión**, para algunas de ellas y donde se destaca el alto **IRE** de la **seda** y de la **lana**.

TABLA 2. 24 - INDICE DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA (IRE)

FIBRA	EXTENSIÓN %		
	1%	3%	5%
Seda	0.96	0.77	0.59
Lana	0.83	0.73	0.57
Poliamida	0.59	0.49	0.42
Poliéster	0.73	0.57	0.49
Acetato	0.73	0.56	0.44
Viscosa	0.50	0.30	0.21
Acrílica	0.25	0.20	0.16

5.4.0- El Diagrama Esfuerzo/ Deformación de las fibras textiles

Los **metales** presentan **elasticidad perfecta** hasta su punto de fluencia y luego comportamiento **plástico**. Los cuerpos como las **fibras textiles**, constituidos por **polímeros lineales** de **alto peso molecular**, con **mezcla de regiones cristalinas y amorfas**, presentan un comportamiento “**viscoelástico**”, es decir **elástico y plástico al mismo tiempo**, y **no en forma sucesiva** como los metales. En los diagramas **Γ vs. ϵ** para la mayor parte de las fibras textiles, el tramo correspondiente al comportamiento elástico perfecto o “hookesiano es, en general, muy pequeño, alcanzándose el **punto de proporcionalidad** a bajos valores de **Γ** .

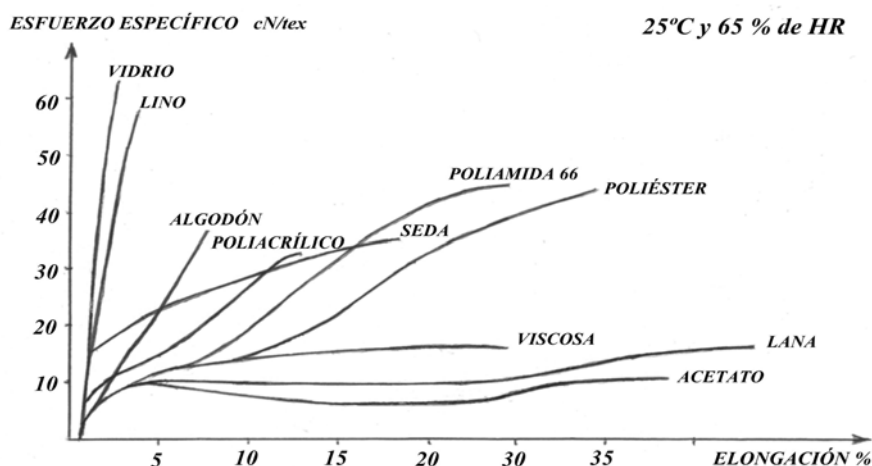


Figura 2.73

Al esfuerzo Γ expresado en kgf/cm^2 , en lbf/in^2 , en N/mm^2 , etc. se le llama “**esfuerzo unitario**” (“*stress*”). Pero para las **fibras textiles**, como su **sección** es muy **pequeña, variable e irregular**, no es muy común utilizar esas unidades. Se divide entonces el “**esfuerzo unitario**” por el **peso específico** del material en cuestión y se obtiene el “**esfuerzo específico**” (*specific stress*).

La dimensiones del “**esfuerzo unitario**” y del **peso específico** son $[F.L^{-2}]$ y $[F.L^{-3}]$, respectivamente, donde F es fuerza y L , longitud. El “**esfuerzo específico**” tendrá entonces dimensiones de una **longitud**, pues $[F.L^{-2}] / [F.L^{-3}] = [F.L^{-2} \cdot F^{-1} \cdot L^3] = [L]$ y puede expresarse directamente en **m, cm, km**, etc..

El “**esfuerzo específico**” se expresa también en unidades de “**fuerza**” divididas por un “**título**” de **sistema directo**, como el **tex** o el **denier**: **cN/ tex, gf/ den, lbf/ tex**, etc., pues al dividir “**fuerza**” $[F]$ por “**densidad lineal**”, $[F.L^{-1}]$ tenemos otra vez dimensiones de longitud:

$$[F] / [F.L^{-1}] = [L].$$

El **esfuerzo** correspondiente al **punto de rotura E** se puede expresar tanto como “**esfuerzo unitario de rotura**” o como “**esfuerzo específico de rotura**”. A este último valor se le conoce más por “**tenacidad**” (*specific strength*). Algunas veces la **tenacidad** se expresa también en **Rkm** o “**resistencia kilométrica**”. Físicamente el **Rkm** representa el largo en **km**, de una fibra o filamento que colgada, sostenida por un extremo, se rompería por su propio peso.

Es interesante notar, p. ej., que el **esfuerzo unitario tensil de rotura** de un filamento de **acero**, es mucho **mayor** que el de un filamento de **seda** (**350 vs. 69-86 lbf/in²**). En cambio, a igual densidad lineal, la **tenacidad** de un filamento de **seda** es mayor que la **tenacidad** de un filamento de **acero** (**4-5 vs 3,5 gf/ den**). Esto es porque a igual densidad lineal, el filamento de acero tiene una **sección** aproximadamente 6 veces **menor** que el filamento de seda, pues la relación de pesos específicos acero/seda es $7,86 / 1,33 = 5,91$.

Vimos que $W = \Gamma \varepsilon / 2$, el área por debajo de la línea Γ vs. ε es el **trabajo de deformación por unidad de volumen del material** (u/V), ya que $W = u/V = P\delta/2V = P\delta/2S\ell = \Gamma \varepsilon / 2$. Se puede medir en p.ej. **kgf.cm⁻², lbf.in⁻²**, etc. Si dividimos W por el **peso específico** obtenemos W' , el **trabajo de deformación por unidad de peso** (o de masa) que se puede medir en **gf/tex, lbf/den**, etc., etc. (otra vez dimensiones de longitud $[FL^{-2} F^{-1} L^3 = L]$).

El área por debajo **sólo** de la porción de diagrama correspondiente a elasticidad perfecta o de comportamiento “hookesiano” corresponde a la **Resilencia R** o trabajo **sólo** de deformación elástica, que también puede ser por unidad de volumen o de peso .

El **módulo de Young, E** es igual a la **tg $\theta = \Gamma/\varepsilon$** en la región del diagrama en que hay comportamiento elástico perfecto o “hookesiano”. Tiene las mismas dimensiones que Γ , pues ε es adimensional. El **módulo de Young unitario** se medirá entonces en **kgf/cm², en lbf/in², en N/mm²**, etc. y el **módulo de Young específico** en **cN/ tex, gf/ den, lbf/ tex**, etc.

En general para las fibras textiles, se utiliza el **módulo de Young inicial al 1% de extensión**, ya que el comportamiento elástico perfecto o “hookoniano” de las fibras textiles generalmente no se extiende mucho más allá de ese valor de extensión.

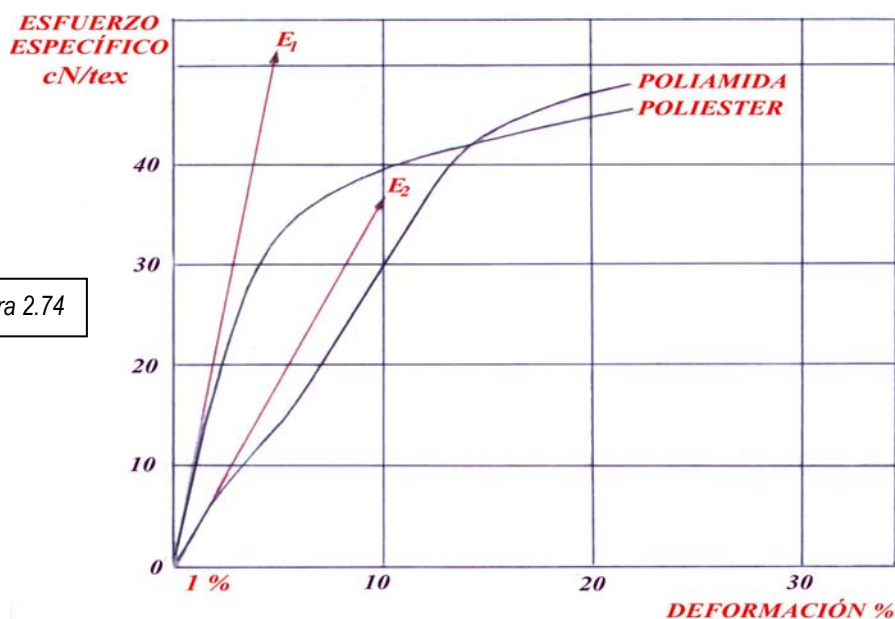


Figura 2.74

Como se puede apreciar en la Figura 2.74, cuanto más empinada la pendiente (OE_1 y OE_2 p.ej.) más alto será el valor del **módulo de Young**, es decir más rígido y menos flexible el material. El aumento de la **crystalinidad** y la **orientación** del material aumenta el **módulo de Young**: En general se investiga permanentemente para mejorar estas características y obtener fibras químicas de mayor módulo. Las fibras **polinósicas** o de rayón viscosa modificada (fibras “Modal” p. ej.) tienen mayor **módulo** y **resistencia tensil en húmedo** que la **viscosa** común y se desarrollaron para mejorar la compatibilidad en húmedo con el **poliéster**, lográndose así una mayor estabilidad dimensional en hilados, telas y prendas hechas con mezcla de esas fibras.

La **rigidez intrínseca** de un cuerpo depende de sus **módulos tensil, flexil, y torsional**, que en un material homogéneo son iguales. La **rigidez aparente** depende también de la **forma**, además de depender de la rigidez **intrínseca**. Por ej. una fibra corta será más rígida que una fibra larga, si ambas son del mismo material. La **rigidez** influirá en las operaciones de hilatura y en las propiedades del artículo final (“mano”, “caída”, suavidad, formación de “pilling”, etc.). A veces, el módulo de las fibras textiles varía a lo largo del proceso de hilatura debido a cambios estructurales (**físicos y químicos**) ocasionados por los esfuerzos mecánicos a los que son sometidas.

Las Tablas 2.25 a 2.27 se han construido con datos tomados de diversas fuentes bibliográficas. Como ejercicio en el manejo de unidades, los estudiantes pueden calcular los valores correspondientes a los espacios en blanco.

TABLA 2. 25 - MÓDULO DE YOUNG UNITARIO TENSIL DE ALGUNOS MATERIALES en GN/m ² (1 GN = 10 ⁹ N)	
Metales de Fundición	70-250
Vidrio	60
Madera	10-20
Caucho natural	0,5
Fibras textiles más comunes	0,01-0,30

TABLA 2.26 - MÓDULO DE YOUNG TENSIL INICIAL AL 1% DE EXTENSIÓN					
Velocidad de Extensión Constante (VEC), 20°C, 65 %HR (*)					
FIBRA TEXTIL	Módulo Unitario			Módulo Específico	
	dinas/cm²	kgf /mm²	lbf /in²	N / tex	Rkm (gf/tex)
Lana	2,3	325		3 - 4	250
Seda	9,7	1000		7,5 - 12	780
Algodón	6,7	745		5	500
Lino	27,0	2750			1800
Viscosa	4,2	880		1 - 2,5	300
Diacetato		380		4	300
Poliamida	3,0	310	0,8 x 10 ⁶	3	250
Poliéster	13,4		2,0 x 10	1,5 - 2,5	250
Acrílica	2,2				300
Aramídica			9,0-17,0 x 10 ⁶		
Carbono			32,0 x 10 ⁶		
Vidrio	75,0		10,0 x 10 ⁶	27	3000
Acero			29,0 x 10 ⁶		3000

(*) Los valores varían en condiciones de mayor humedad: disminuyen para la mayoría de las fibras y aumentan para el algodón y el lino.

TABLA 2.27 - VALORES DE RESISTENCIA, EXTENSIÓN, TENACIDAD Y TRABAJO DE ROTURA				
Velocidad de Extensión Constante (VEC), 20°C, 65 %HR (*)				
FIBRA	RESISTENCIA TENSIL A LA ROTURA	TENACIDAD	EXTENSIÓN A LA ROTURA	TRABAJO DE ROTURA por unidad de peso
	mN /cm² (x 10³)	N /tex	%	N /tex
Lana	14-20	0,10-0,15	43	0,036
Seda	30-55	0,25-0,45	16	0,082
Algodón	40-70	0,17-0,40	9	0,010
Lino	35-105	0,45-0,55	3	0,090
Viscosa	25-65 (**)	0,15-0,2 (**)	19	0,026
Diacetato	15-20 (**)	0,1-0,15 (**)	34	0,025
Poliamida	45-80 (**)	0,4-0,5 (**)	16-20	0,086
Poliéster	110	0,30-0,8	15	0,070
Acrílica	50-55	0,2-0,45	15	0,060
Aramídica	275-350	2,00	2-4	
Vidrio	150-250	0,60		0,007
Acero	35-170	0,25		

(*) Los valores varían en condiciones húmedas: disminuyen para la mayoría de las fibras y aumentan para el algodón y el lino. (**) El acetato "Fortisan", la viscosa "Polinósica" y la poliamida de alta tenacidad presentan valores superiores.

TABLA 2.28
RESUMEN DE NOMBRES, SÍMBOLOS, DIMENSIONES Y UNIDADES DE LOS PARÁMETROS RELACIONADOS
CON LOS DIAGRAMAS DE CARGA-ALARGAMIENTO Y ESFUERZO-DEFORMACIÓN

DENOMINACIÓN				UNIDADES	DENOMINACIÓN INGLESA
Carga	P		$[F]$	N, gf, lbf, dinas, etc.	"Load"
Carga de Rotura	P_r		$[F]$	N, gf, lbf, dinas, etc.	"Breaking Load"
Alargamiento	δ		$[L]$	m, cm, in., etc.	"Length Change"
Trabajo de Deformación	u		$[FL]$	gf.m, ft.lbf, ergios, julios, etc	"Extension Work"
Esfuerzo Tensil	Γ	UNITARIO	$[F.L^{-2}]$	gf/cm ² , lbf/in ² , N/mm ² , etc.	"Stress"
	Γ'	ESPECÍFICO	$[L]$	gf/tex, lbf/den, cN/tex, etc	"Specific Stress"
Resistencia Tensil a la Rotura	Γ_r	UNITARIO	$[F.L^{-2}]$	gf/cm ² , lbf/in ² , N/mm ² , etc.	"Breaking Strength"
Tenacidad	Γ_r'	ESPECÍFICO	$[L]$	gf/tex, lbf/den, cN/tex, Rkm, etc	"Tenacity"
Deformación %	ϵ		adimen.	-	"Strain"
Módulo de Yung Módulo Tensil de Elasticidad	E	UNITARIO	$[F.L^{-2}]$	gf/cm ² , lbf/in ² , N/mm ² , etc.	"Young Module"
	E'	ESPECÍFICO	$[L]$	gf/tex, lbf/den, cN/tex, Rkm, etc	"Specific Module"
Trabajo de Deformación (p. u. vol.) (p. u. peso)	W	UNITARIO	$[F.L^{-2}]$	gf/cm ² , lbf/in ² , N/mm ² , etc.	"Strain Work"
	W'	ESPECÍFICO	$[L]$	gf/tex, lbf/den, cN/tex, Rkm, etc	"Strain Work"
Trabajo de Rotura (p. u. vol.) (p. u. peso)	W_r	UNITARIO	$[F.L^{-2}]$	gf/cm ² , lbf/in ² , N/mm ² , etc.	"Breaking Work"
	W_r'	ESPECÍFICO	$[L]$	gf/tex, lbf/den, cN/tex, Rkm, etc	"Toughness"
Trabajo Elástico (p. u. vol.) (p.u. peso)	R	UNITARIO	$[F.L^{-2}]$	gf/cm ² , lbf/in ² , N/mm ² , etc.	"Resilency"
	R'	ESPECÍFICO	$[L]$	gf/tex, lbf/den, cN/tex, Rkm, etc	"Specific Resilency"

TABLA 2.29
RESUMEN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES

	TENACIDAD	EXTENSIÓN A LA ROTURA	TRABAJO DE ROTURA	MÓDULO DE YOUNG	RECUPERACIÓN ELÁSTICA al 5% de extensión
MUY ALTA	aramídicas, vidrio, carbono			aramídicas, vidrio, carbono	poliamida poliéster
ALTA	poliamidas, seda, poliéster, lino	lana, diacetato	lana, seda, poliamídica poliéster, acrílica	poliéster, lino yute	lana, diacetato
MEDIA	algodón, acrílica	seda, viscosa poliamida, poliéster, acrílica	viscosa diacetato	seda polipropileno	seda viscosa (alta tenacidad)
BAJA	lana viscosa diacetato	aramídica, vidrio, carbono	lino, algodón, vidrio, aramídica, carbono	acetato, triacetato, poliamida, acrílica, lana, elastano	algodón

5.5.0- DIAGRAMAS DE FUERZA Y EXTENSIÓN vs. TIEMPO

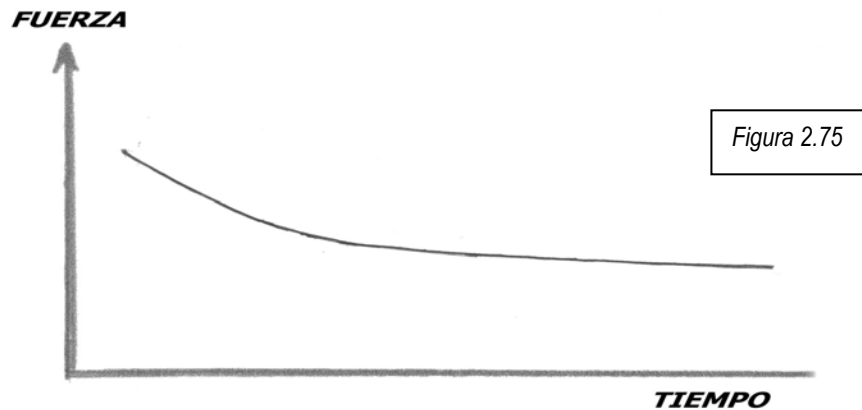


Figura 2.75

Si la fibra es mantenida en tensión, a **longitud constante** y sin permitirle recuperar su longitud inicial, la carga disminuirá en función del tiempo hasta alcanzar un valor constante debido a una acomodación molecular (Figura 2.75).

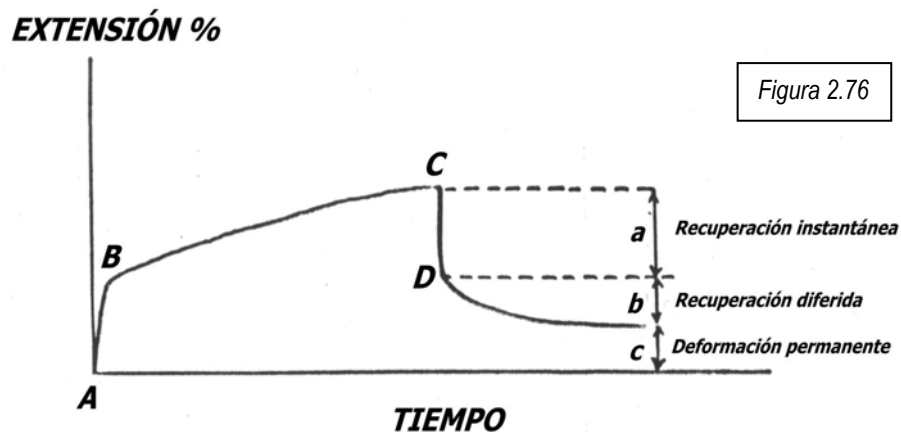


Figura 2.76

Si aplicamos a un extremo de la fibra una **fuerza de tracción constante**, se producirá una *rápida* extensión hasta el punto **B**. Si esa fuerza se mantiene constante, la extensión aumentará más *lentamente* hasta el punto **C**. Si en ese punto se suprime la fuerza se producirá una contracción instantánea hasta el punto **D** y luego, una recuperación lenta de la deformación hasta que, un aumento de tiempo no implica mayor recuperación. Es decir se produce una deformación permanente (Figura 2.76).



Figura 2.77

“WIRA SINGLE FIBRE STRENGTH MACHINE” para la medición de la resistencia a la tracción de fibras individuales

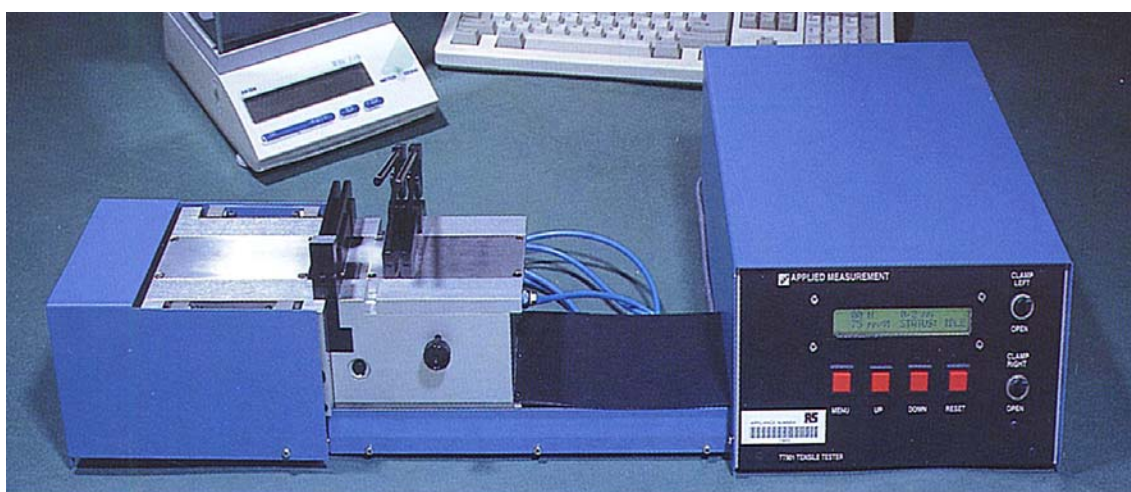


Figura 2.78

“SIROLAN-TENSOR” para la medición de la resistencia a la tracción de mechas de lana
Figuras tomadas de folletos comerciales.

BIBLIOGRAFÍA

- 1-“Handbook of Textile Fibres” Milton Harris, Harris Research Labs., Inc. Washington, D.C., USA, 1954.
- 2- “Mechanical Properties of Textile Fibres”,R.Meredith, Interscience Publ. 1956
- 3- “Handbook of Fiber Science and Technology”,Ed. M. Lewin, E. M. Pearce. Marcel Dekker, Inc., N.York 1985
- 3- “Textile Mechanics”, K. Slater, The Textile Institute, Manchester, 1987. (Chapter 14)
- 4- “Physical Testing of Textiles”, B.P.Saville, University of Huddersfield, Woodhead Publ. Ltd. England, 2001

EJERCICIOS

Ejercicio 1- Distintas porciones de 50 cm de largo de un filamento textil de peso específico 1.14 g/cm³ y 0.8 mm de diámetro aparente, fueron sometidos, en un dinamómetro, a cargas crecientes, a velocidad constante. En cada caso se determinó la *elongación final media* y, luego de suprimida la carga, la *deformación media permanente*, si la hubo. Así sucesivamente hasta llegar a la carga de rotura.

ENSAYO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CARGA, gf	0	25	50	75	100	110	120	125	130	140	170	180	190
ELONGACIÓN, mm	0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	23,0	35,0	45,0	51,0	55,0	56,0	56,5
DEFORMACIÓN PERMANENTE, mm	0	0	0	0	0	2,5	9,0	18,5	30,0	35,0	36,0	36,0	punto rotura

Se pide: 1) construir el diagrama "Carga-Elongación" (Newtons vs elongación en mm), 2) ubicar en el diagrama el punto correspondiente al "límite de proporcionalidad" y, aproximadamente, el "límite de elasticidad" y el "punto de fluencia", 3) calcular la "tenacidad" y el "módulo de Young específico" en N/mtex, 4) estimar para que aplicación o uso textil sería adecuado este filamento.

Ejercicio 2- En un dinamómetro se ensayan muestras de 20 cm de un filamento de 5 deniers y de peso específico 1.1 g/cm³. Se obtiene un "diagrama esfuerzo-deformación" como el que se muestra más abajo. ¿Cuál es la tenacidad expresada en N/tex? ¿Cuál es el área de su sección? ¿Cuál su elongación a la rotura? ¿En que rango de esfuerzos utilizaría este filamento? ¿Porqué?

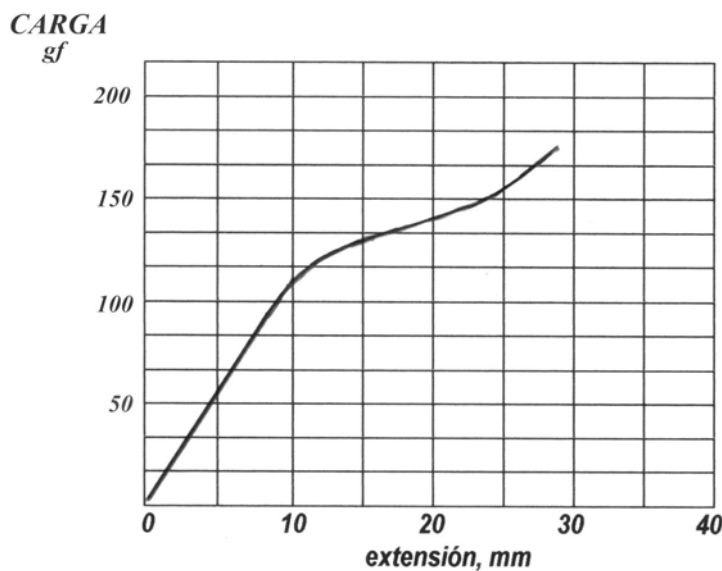


Figura 2.79

6.0.0- PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Las fibras textiles, cuando poseen un cierto contenido de humedad, son buenas conductoras de la electricidad. Sin embargo, a medida que el "regain" disminuye, la resistividad aumenta y si son sometidas a rozamiento pueden cargarse de electricidad estática. Lógicamente, las fibras hidrófobas se cargan más fácilmente y el **clima seco** favorece el fenómeno (Figura 2.80).

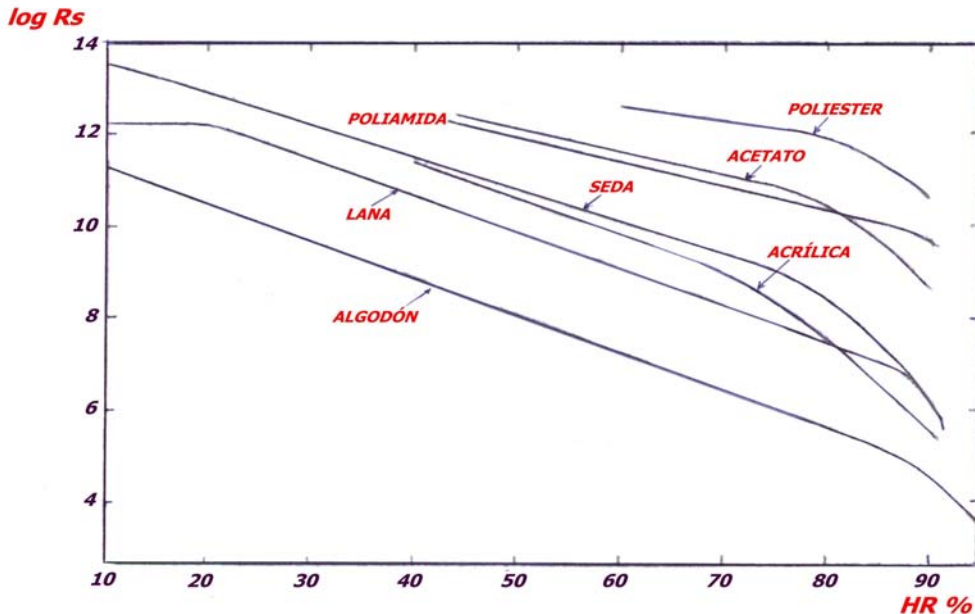


Figura 2.80

Rs : resistividad específica en ohms; HR % humedad relativa ambiente porcentual

La formación de cargas estáticas durante el proceso de hilatura puede dificultar algunas operaciones y provocar salto de chispas con el consiguiente riesgo de incendio. Por tanto en las salas de hilandería es recomendable mantener una atmósfera controlada, regulándose la temperatura y la humedad relativa ambiente (HR %) a los valores más adecuados para las fibras con las que se está trabajando.

En ciertas aplicaciones prácticas, que los textiles se carguen de electricidad estática puede llegar a ser un inconveniente serio. Por ejemplo, en un quirófano o en cualquier lugar donde haya sustancias inflamables, se debe evitar de todas formas la formación de cargas estáticas. Esto se puede lograr incluyendo en el tejido varios filamentos conductores (*p.ej. fibra de carbono*) o tratándolo con productos de terminación especiales (*p.ej., suavizantes catiónicos*).

BIBLIOGRAFÍA

1- *Electrostatic Charging of Textiles*", J.Holme, J.E.McIntyre, Z.J.Shen. *Textile Progress*, Vol.28, N°1, 1998

7.0.0- PROPIEDADES TÉRMICAS

Algunas de las propiedades térmicas, como las temperaturas de transición T_a y T_c y la absorción exotérmica de agua, ya han sido comentadas en las secciones 5.0 y 6.0 respectivamente. La temperatura de transición T_a tiene mucha importancia en las operaciones textiles de planchado, fijado, texturizado, tintura, etc. pues algunas de ellas deben realizarse por encima y otras por debajo de esa temperatura.

El confort térmico de una prenda depende ciertamente del tipo de fibra textil empleada pero también, en gran medida, de cuan abierto o cerrado sea el tejido utilizado en su confección (ver Vol. III, Cap. 11, Sec. 3.0.0, "El confort de las Prendas"). Los valores de **calor específico** y **conductividad térmica** presentan entonces una utilidad muy relativa para realizar evaluaciones en este sentido. De todas formas, en la Tabla 2.30 damos estos datos para algunas fibras.

TABLA 2.30

FIBRA	CALOR ESPECÍFICO cal g ⁻¹ °C	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA w cm ⁻¹ °C ⁻¹
ALGODÓN	0.319	7.1 x 10 ⁻⁴
LINO	0.322	
VISCOSA	0.324	
LANA	0.325	5.4 x 10 ⁻⁴
SEDA	0.331	5.0 x 10 ⁻⁴
LANA DE VIDRIO	0.157	

En cambio, el **tiempo de resistencia a la ignición** y los **efectos posteriores a la ignición**, como la cantidad de humo que se genera o la posible liberación de sustancias tóxicas, son características que se deben tener muy en cuenta al establecer normas de seguridad en el hogar, en el trabajo, en la construcción de edificios, en el transporte, etc., etc.

Muchos países poseen **normas** que regulan estos aspectos para las telas de tapicería, ropa de cama, prendas de dormir para niños, alfombras y recubrimientos, etc., etc. El cumplimiento de estas normas en locales de espectáculos públicos, escuelas, hospitales, hoteles, "shopping centers", etc., puede salvar vidas y evitar catástrofes.

Por ejemplo, las fibras **acrílicas** que contienen más del 85% de poliacrilonitrilo se encienden fácilmente y queman rápidamente y por tanto no deben ser usadas en casi ninguna aplicación. Pero, si se copolimeriza el acrilonitrilo con monómeros clorados como el cloruro de vinilo o de vinilideno, de tal forma que el polímero final contenga menos del 85% de acrilonitrilo, se obtienen las fibras "**modacrílicas**" que pasan el "**test del cigarrillo**" o el "**test de llama de fósforo**" y que, por tanto, sí se pueden utilizar en varios artículos. Las clorofibras, por contener cloro en sus moléculas, son también resistentes al fuego.

El **algodón** entra también fácilmente en ignición. Para ser utilizado, por ejemplo, en tapicería debe recibir un tratamiento antigífugo o retardantes de llama, con productos especiales. Las telas se impregnan en un "foulard" y luego se secan. La **lana** por si misma es resistente al fuego pero puede ser mejorada por tratamientos especiales como por ejemplo el "Zirpo", desarrollado por el Secretariado Internacional de la Lana (SIL).

En general las propiedades retardantes a la llama de las fibras textiles se comparan por medio del **Índice de Oxígeno Límite (IOL)**. El IOL es el porcentaje mínimo de oxígeno presente en una atmósfera capaz de mantener la combustión de una dada fibra. Como la atmósfera terrestre

contiene aproximadamente un 21 % de oxígeno, aquellas fibras que tengan un **IOL** menor a 21 mantendrán la combustión luego de encendidas. Cuanto más alto el **IOL** de una fibra más resistente a la llama será. Debemos tener en cuenta, sin embargo, que la inflamabilidad de un artículo textil depende también de otros factores como el movimiento del aire, la estructura de la tela, el “regain”, etc.

TABLA 2.31

FIBRA	IOL
ACRÍLICA	18
VISCOSA	19
ALGODÓN	19
POLIESTER	22
POLIAMIDA	22
LANA	25
ALGODÓN R.F.	28
VISCOSA R.F.	28
POLIESTER R.F.	28
MODACRÍLICA	26-31
LANA R.F.	31
CLOROFIBRAS	35-48
R.F.: fibra con tratamiento ignífugo	

BIBLIOGRAFÍA

- 1- **“The Burning Behaviour of Textiles and its Assessment by Oxygen-index Methods”, A.R. Horrocks, M. Tunc, D. Price. Textile Progress, Vol. 18, N° 1/2/3, 1989**
- 2- **“Fire Retardant Materials”, Ed. A.R.Horrocks, D. Price, Woodhead Publ. Ltd., UK, 2000**

8.0.0- ALGODÓN

De acuerdo a evidencias arqueológicas encontradas en Mohenjo Daro (*valle del Indo*) y en las costas del Perú, el uso de la fibra de algodón con fines textiles se remonta a por lo menos 4000 años antes del presente, pero su origen puede ser aún más remoto. Desde hace unos 500 años el cultivo del algodón se ha extendido a regiones templadas de América, Eurasia y África y es el mayor cultivo mundial no alimentario. El negocio del algodón genera solo en USA unos 50 billones de dólares anuales, lo que es más de lo generado por cualquier otro cultivo. La fibra de algodón es actualmente aproximadamente el 38 % del consumo total de fibras textiles (*naturales más químicas*). Por todo esto el algodón ha sido y sigue siendo *“la reina de las fibras”*. El algodón contiene 88-96 % de celulosa, el valor más alto conocido del mundo vegetal.



Figura 2.81

Cada semilla de algodón está recubierta por unas 1200 a 1500 fibras. Las fibras tienen forma de cinta helicoidal achatada, con largos que van de 15 a 40 mm y un diámetro aparente entre 12 y 18 μ , según el origen y variedad de la planta (*)¹. En un corte seccional de la fibra se puede distinguir: **1)** una *capa primaria*, con una estructura de *celulosa* filamentosa con giros de 70° con respecto al eje longitudinal, algunos a la derecha y otros a la izquierda; **2)** *capas internas secundarias* con giro helicoidal de 20-30° que cambia de dirección a lo largo del eje de la fibra (*cada capa tiene aproximadamente 40 fibrillas de celulosa*); **3)** un canal central o *“lumen”* (Figuras 2.78 y 2.79). Los algodones inmaduros y “muertos” son aquellos cuyas fibras tienen paredes secundarias muy delgadas. Este tipo de fibras tienen tendencia a formar “neps” en hilandería y no se tiñen bien. En la pared primaria están presentes *proteínas, ceras y pectinas* que en cierto modo actúan como lubricantes y facilitan las operaciones de hilatura pero deben tratarse de eliminarse previamente a la tintura. A veces están presentes en el algodón *azúcares* (“*honeydew*”), producidos por algunos insectos (*áfidos*) que parasitan la planta. Estos azúcares generan problemas durante la hilatura, pues las fibras se adhieren a las partes móviles de las máquinas.

El algodón tiene también *sustancias colorantes* que generalmente son eliminadas por lavado y blanqueo químico oxidante (*en el hilado o en la tela ya tejida, no antes*). Los algodones blancos son más apreciados que los que poseen un tinte amarillento. El *calcio* y el *magnesio*, presentes en cantidades variables, forman compuestos con los aminoácidos, las proteínas y las pectinas que son difíciles de remover durante los lavados. Altas concentraciones de estos elementos afectan también el pH del blanqueo oxidativo produciendo resultados irregulares. Por tanto, durante el blanqueo de algodón con, p.ej. peróxido de hidrógeno, debe controlarse la presencia y concentración de calcio y magnesio.

¹ Las variedades de algodón más conocidas son el *Gossypium hirsutum*, variedad americana que representa el 80% de la producción mundial, el *Gossypium barbadense*, también americana, con el 10% del mercado mundial, el *Gossypium arboreum* y el *Gossypium herbaceum*, variedades asiáticas y africanas, con el 10% restante del mercado mundial

El **hierro**, el **cobre** y el **manganeso** - que también se encuentran en cantidades variables, dependiendo de la composición del suelo de cultivo. - catalizan la despolimerización de la celulosa y producen blanqueos desparejos, coloraciones no deseadas y ataque excesivo.

En general, el algodón tiene menos de 10 ppm de hierro pero, a veces, puede llegar a tener hasta 300 ppm, cuando ha sido cultivado en tierras muy ricas en hierro (*p.ej. el algodón brasilero cultivado en tierras rojas*), o cuando ha sufrido mucha fricción con las piezas metálicas de las máquinas de "desmotado". Con estas altas concentraciones de hierro, un **blanqueo oxidativo** del algodón produce óxidos de hierro rojos que colorean la fibra y, entonces es mejor hacer un **blanqueo reductor**. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, algunas veces, la tonalidad rojiza del algodón es debida a otras causas distintas al contenido de hierro.

Si una tela de algodón está contaminada con pequeñas partículas de hierro metálico, como p.ej. clips, tachuelas, clavos, restos de esponjas de hierro, etc., estas partículas catalizan tan intensamente el proceso de blanqueo químico que en la tela, alrededor de la partícula de hierro, se forma un agujero.

Después del blanqueo químico, es conveniente realizar controles de **fluidez** y del **grado de polimerización** de la celulosa para evaluar posibles daños a la fibra ocasionados por procesos muy agresivos.



Figura 2.82

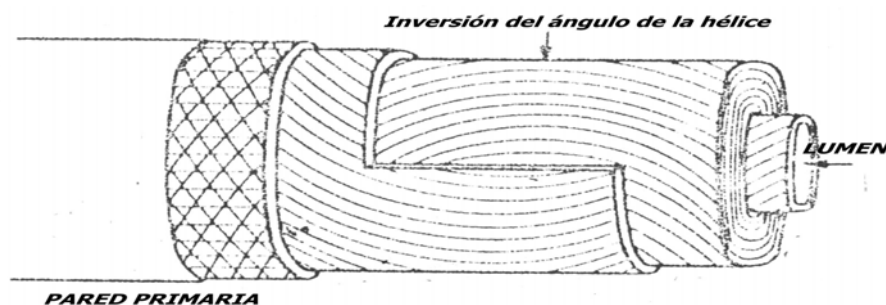


Figura 2.83

Las **fibrillas** son entidades discretas que agrupan partículas elipsoidales de aproximadamente $1,5 \times 1,1 \mu\text{m}$. Estas partículas contienen las cadenas moleculares de **celulosa** con un peso molecular de aproximadamente 500.000 y cada una constituida por unas 3000 unidades de **glucosa**. Las cadenas se agrupan en paquetes de unas 60 unidades. Esos paquetes tienen **zonas cristalinas** en los que las cadenas moleculares están más próximas y paralelas, unidas entre sí por **enlaces hidrógeno**. El algodón, y en general todas las fibras naturales celulósicas, son fibras de alta cristalinidad. La **celulosa** (1,4- β -D-glucano) puede representarse de tres maneras.

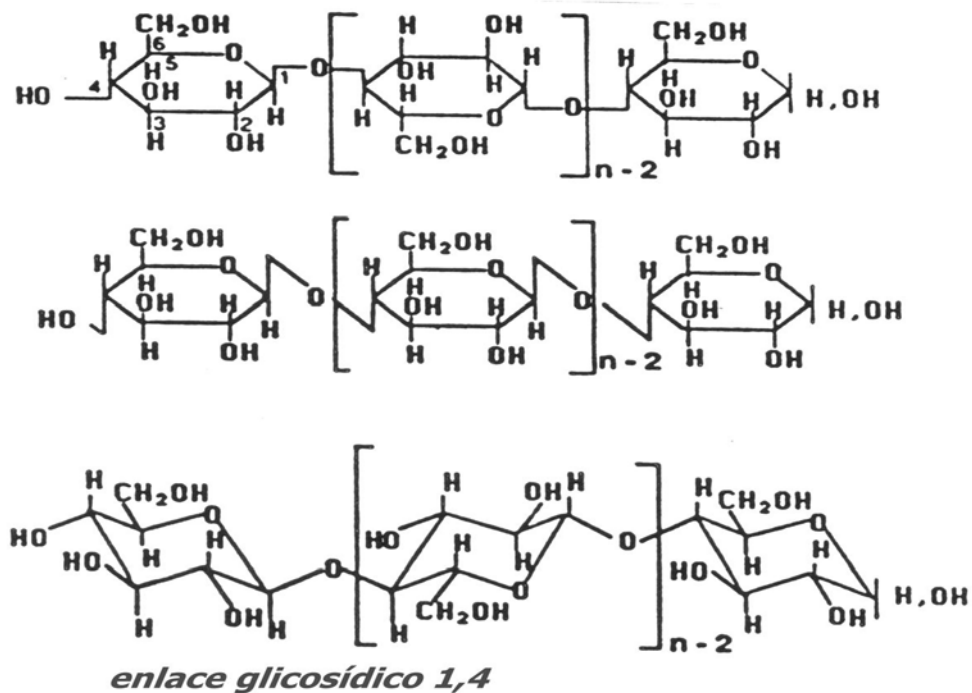


Figura 2.84

Conteniendo tantos grupos $-OH$, la **celulosa** debería ser hidrosoluble. Sin embargo no lo es porque los enlaces hidrógenos intermoleculares forman una red tan intrincada que las moléculas de agua no pueden penetrar y formar uniones hidrógeno competitivas con las internas ya existentes en la **celulosa**.



Figura 2.85

De todas maneras la cantidad de agua que las fibras celulósicas son capaces de absorber es muy grande:

TABLA 2.32 - AGUA ABSORBIDA %				
$T^{\circ}C$	HR %	ALGODÓN	ALGODÓN MERCERIZADO	VISCOSA
20	100	22 (*)	50(*)	45 (*)
20	65	7-11	11-17	11-13

(*) Estos valores se corresponden con los valores calculados para el "volumen interno" de la fibra. El "volumen interno" está formado por los espacios capilares y poros de la fibra. Durante la tintura este volumen es ocupado por una "solución interna" o "fase interna" que forma parte de la "capa límite hidrodinámica" (ver Sección "Tintorería Industrial" del Capítulo 8)

La celulosa puede considerarse como **no iónica** pues no contiene grupos ionizables en medio neutro y puede representarse, en forma general como $Cel-OH$. Sin embargo, **cuando se**

sumerge una fibra celulósica en agua, en su superficie aparece una carga eléctrica negativa (ver en el Capítulo 8, "Potencial eléctrico de membrana" y "Efecto Donnan").

Durante el blanqueo oxidativo en medio alcalino algunos grupos hidroxilos se transforman en carboxilos (Cel-COOH). Las celulosas regeneradas como la viscosa, presentan también algunos grupos carboxílicos. Con un tratamiento alcalino intenso con soda cáustica o amoníaco (ver en el Capítulo 7, **mercerizado**), la fibra se hincha y pasa de la forma achatada a tener forma cilíndrica. El algodón mercerizado tiene más brillo, absorbe más agua y se tiñe más intensamente.

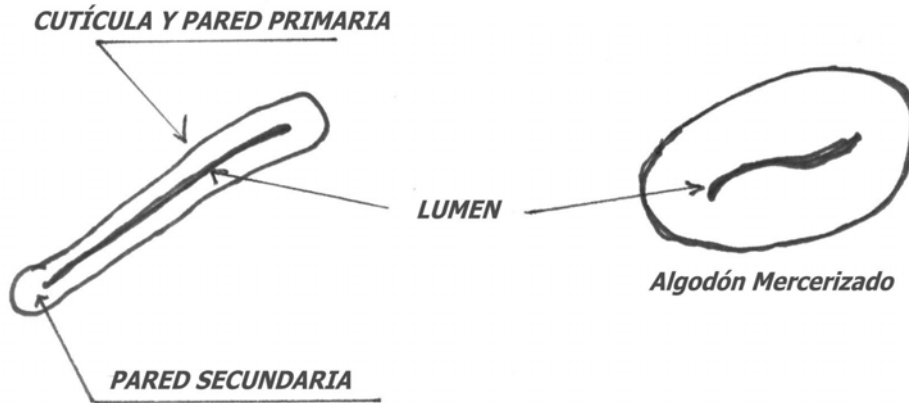


Figura 2-86

El algodón y el lino se diferencian del resto de las fibras en que **su resistencia mecánica aumenta en el estado húmedo**. Esto se atribuye a un enderezamiento y paralelizado de las estructuras filamentosas helicoidales en sus capas secundarias.

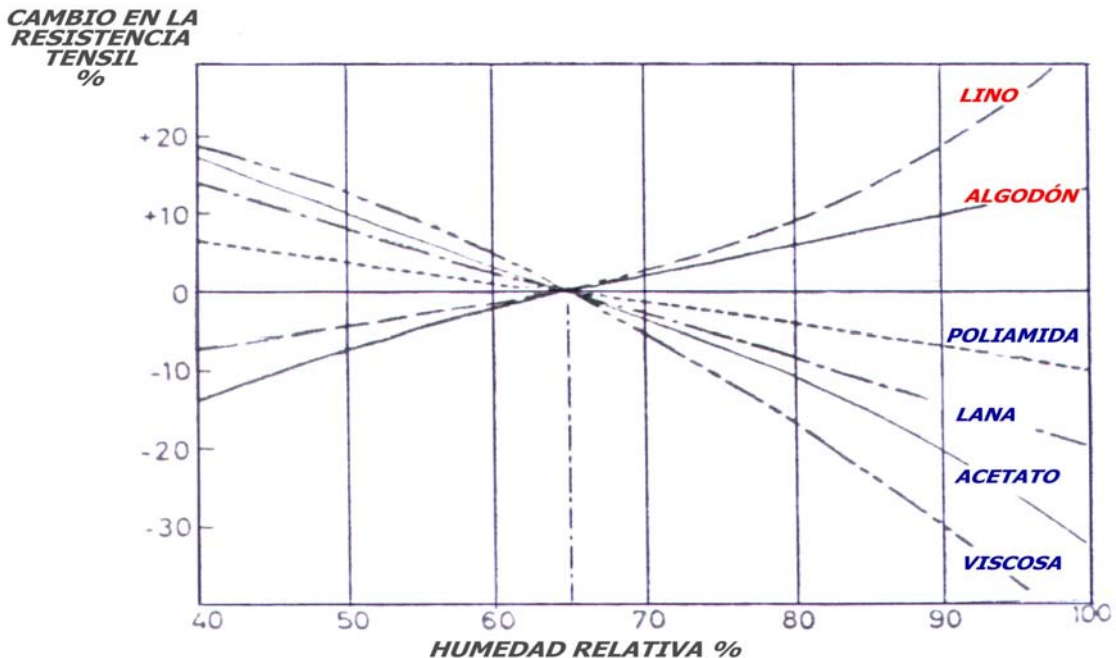


Figura 2.87

El espesor de la pared de la fibra de algodón depende del grado de madurez de esta. El espesor de la pared va aumentando a medida que la fibra madura. Se puede definir el grado de espesor de la pared de la fibra (θ) como la *relación entre el área seccional de la pared sobre el área*

seccional total de la fibra. Valores muy bajos para θ son característicos de lo que se llama algodón “muerto”. Las fibras inmaduras o “muertas” generan una serie de inconvenientes durante el proceso de hilatura, como p.ej. rotura de las fibra y una mayor tendencia a formar “neps”. Presentan, además, una mayor resistencia a la tintura. No es de extrañar entonces que, a la hora de comercializar el algodón, además del **largo** de la fibra y de su **resistencia** a la tracción, su **madurez** sea una de las características más importantes a tener en cuenta.

La medición de la finura del algodón en aparatos del tipo “air flow” (Secc. 2.21 “La finura de fibras textiles”) no es sencilla, pues los resultados se ven afectados por el grado de madurez de la muestra. Por esta razón los resultados se expresan en **unidades arbitrarias “micronaire”** nombre derivado de la marca de un equipo de medición de la empresa Sheffield Corporation. El **índice micronaire** es función tanto de la **finura** como de la **madurez** de la fibra. Buena madurez y fibras gruesas significan altos **índices micronaire**. Valores de **3** corresponden a algodones muy finos, entre **3** y **5** a algodones de finura media e, índices superiores a **5** a algodones gruesos. La calidad final de un hilado o tela de algodón dependen en gran proporción del valor del **índice micronaire**. Cuando el valor es muy alto no es posible obtener hilados delgados de buena calidad. El ábaco de la Figura 2.88 muestra la relación entre **micronaire**, **finura**, **tasa de madurez** y **diámetro aparente** de la fibra. La sección transversal de la fibra es considerada como circular, lo que hace que los valores del diámetro de fibra en el ábaco sean aproximadas. Las curvas para el nivel de **micronaire** son empíricas y por lo tanto contienen error experimental. La **finura** es expresada en **densidad lineal** o **militex** ($\mu\text{g}/\text{m}$).

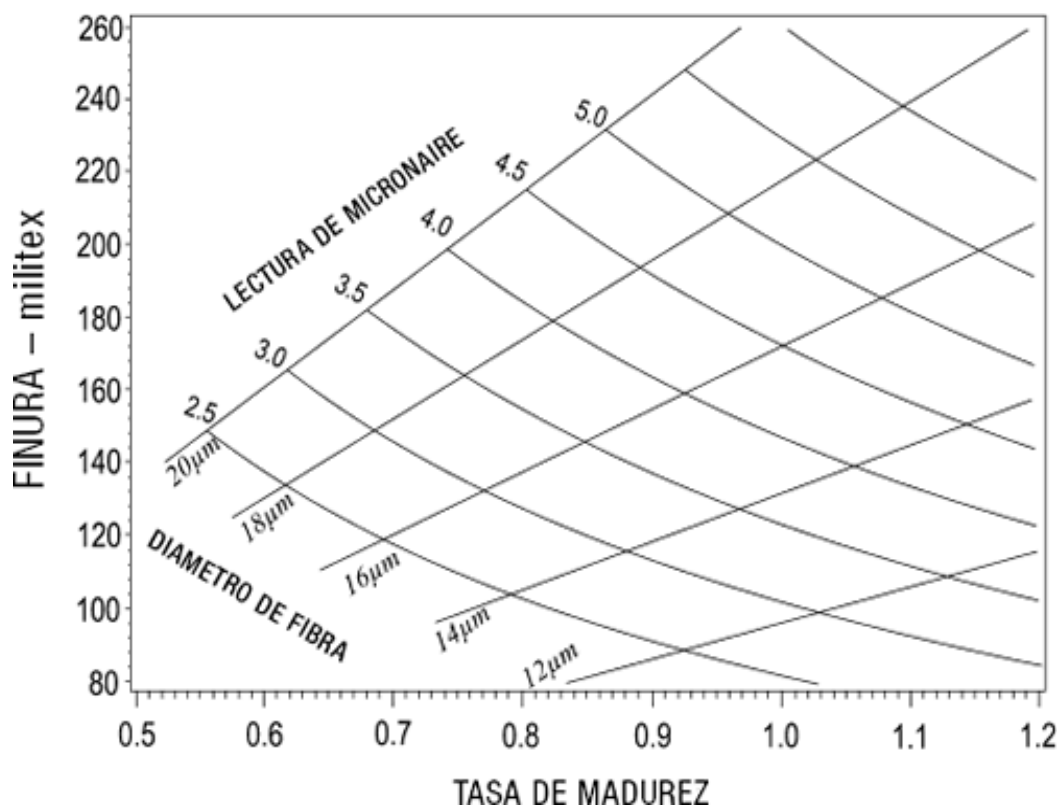


Figura 2.88

El rango práctico de finura, p.ej., para el algodón U.S. Upland es de alrededor de 125 - 225 militex. El **micronaire** es expresado en unidades micronaire adimensionales. El rango práctico de micronaire, p.ej., para el algodón U.S. Upland es de 2.0 - 6.0. La **tasa de madurez (M)** se define) como: $M = [(N - D) / 200] + 0,7$ donde N es la cantidad de fibras normales y D la cantidad de fibras muertas presentes en la muestra analizada.

TABLA 2.33

RESUMEN DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DEL ALGODÓN
Se arruga fácilmente y tiene poca resistencia a la abrasión.
Carece de lustre o brillo a menos que se mercerice (<i>la variedad "Sea Island" es una excepción</i>)
Es buen conductor del calor.
Por esta razón, en general las prendas son frescas. La densidad del tejido también influye en el confort.
Los artículos de algodón absorben rápidamente mucha agua pero <i>la retienen y se secan con dificultad</i> .
Se ensucia fácilmente debido a la superficie rugosa de la fibra y los hilados.
Las prendas algodón encogen luego del lavado, especialmente si se lava en medio alcalino.
Su resistencia mecánica disminuye cuando se le somete a tratamientos de blanqueo agresivos.
Es bastante resistente a los álcalis pero es atacado por los ácidos
Es inflamable pero por debajo de 200 °C puede plancharse sin problemas.
Es atacado por los hongos y no debe almacenarse húmedo. No es atacado por la polilla
Amarillea y pierde resistencia cuando se expone prolongadamente a la luz solar o a radiación UV
Se tiñe con una gran variedad de colorantes: directos, tina, sulfuro, reactivos y diazotables



Figura 2.89 Capullo de Algodón

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "La Guerra Secreta por el Algodón", Anton Zischka, Ed. Claridad, Bs.As., 1940
- 2- "The Physical Properties of Cotton", A.N.Gulati. Asian Publishing House, New Delhi, 1950
- 3- "Chemistry and Chemical Technology of Cotton", Ed. by Kyle Ward, Jr. Interscience Publ. Inc. N.Y, 1955
- 4- "Cotton", H.B.Brown, J.O.Ware, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1958
- 5- "Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres", E.R. Trotman, Ch. Griffin & Co. Ltd, London, 1975
- 6- "Handbook of Textile Fibres", J.Gordon Cook, Marrow Technical Library, Durham, England, 1984.
- 7- "The Theory of Coloration of Textiles", ed. by Alan Johnson, Society of Dyers and Colourists, UK, 1989
- 8- "Cotton Testing", Ed. by J.A. Smirfitt, The Textile Institute, Textile Progress, Vol 27, N°1
- 9- "Cotton, King of Fibers", Jon Thompson, National Geographic, Vol 185, N°6, June 1994
- 10- "The International Cotton Trade", Julian Roche, Woodhead Publ. Ltd., England, 1994

MUSEOS

- 1- "Museo del Algodón", El Cairo, Egipto

9.0.0- LINO



Variedad de lino de flores blancas



Variedad de lino de flores azules

Figuras 2.90 y 2.91, reproducido de "BASF Reportes Agrícolas 3/1990"

El **lino**, es una planta *dicotiledónea* de la familia de las *Lináceas*, género *Linum*. Se cultivan dos especies de uso textil: *linum usitatissimum* y *linum perenne*. Hay evidencias arqueológicas de que el **lino** se cultivaba y utilizaba como textil en Egipto, hace 6000 años o más. Luego fue cultivado en la Antigüedad por los romanos y difundido por toda Europa por los fenicios. Actualmente es un importante cultivo en Rusia, Irlanda, Francia, Bélgica y Holanda.

Las fibras naturales celulósicas que se obtienen de **tallos** de plantas, como es el caso del **lino**, el **ramio**, el **cañamo**, el **kenaf**, el **jute**, etc. se conocen como **fibras bastas**. A diferencia del algodón, fibra que rodea la semilla y que es **celulosa** casi pura, los tallos tienen una mayor cantidad de **sustancias colorantes**, **hemicelulosas** y **ligninas**. Estas dos últimas sustancias actúan como cemento de unión entre las fibras. Las **fibras bastas** requieren procesos de separación más complejos y blanqueos químicos más intensos y, por tanto, son más caras que el algodón para sus aplicaciones textiles. El **cañamo**, el **kenaf** y el **jute** se utilizan preferentemente en aplicaciones *industriales* (*cordelería, velas marineras, geotextiles, etc.*) más que en prendas. Lo mismo puede decirse de las fibras obtenidas de **hojas**, como el **henequén**, el **sisal**, el **formio** y otras (*ver el Capítulo siguiente, Cap. 10.0.0*).

Si bien los tallos de las plantas de **lino** tienen aproximadamente un metro (1m) de longitud, las fibras separadas pueden tener de 30 a 70 mm de largo y menos de 20 micras de diámetro aparente. Para preservar la longitud de las fibras, el **lino** se cosecha arrancándolo y no cortándolo. Tradicionalmente se extiende los tallos en el campo durante varios días para que reciban el rocío o se les sumerge en la orilla de un río ("**enriado**"). De esa forma, con el aumento de la humedad de la fibra, se producen fermentaciones naturales que atacan y descomponen las hemicelulosas y las ligninas. Esto permite una separación más fácil de las fibras. La etapa siguiente es el "**agramado**" donde se separan por medios mecánicos las fibras y se eliminan semillas e impurezas. Las diferentes calidades de estopas obtenidas son la materia prima para el proceso de hilatura. El proceso de hilatura puede ser el "**de peinado**", en el que se utilizan las fibras más largas o el "**de estopa**", que utiliza las fibras más cortas obtenidas del agramado y como subproducto del "**peinado**". Ambos procesos pueden realizarse en seco o en húmedo. En la hilatura en húmedo, generalmente se desgoma y blanquea la mecha antes del estirado y de la inserción de torsión final. Es conveniente controlar la **fluidez** y el **grado de polimerización** de la celulosa después de los tratamientos de blanqueo para evaluar posibles daños a la fibra.

El **lino**, en muchos aspectos, es parecido al algodón. Existen sin embargo diferencias notables. La estructura molecular del **lino** es más ordenada y por tanto su resistencia a la tracción y a la

abrasión es mucho mayor. Su elasticidad es menor que la del algodón y por tanto, a iguales tensiones presenta una menor elongación. Esto puede presentar algunos problemas en la hilatura y en el tisaje, si no se controlan adecuadamente las tensiones de los hilos. Como ya se mencionó, tiene más color e impurezas no celulósicas y los procesos de blanqueo son más costosos. El *lino* también puede ser mercerizado pero requiere un proceso más largo.

Con *lino* se pueden elaborar prendas muy frescas, muy absorbentes, fuertes, resistentes, durables y con un agradable lustre natural. Son fáciles de teñir, no alergénicas y no generan electricidad estática. Es una de las fibras naturales más resistentes a la tracción y su resistencia, al igual que el algodón, aumenta en húmedo. Debido a la baja elasticidad de la fibra, sin embargo, las telas de *lino* tienen el inconveniente de arrugarse fácilmente.

Las prendas, los manteles, las servilletas, las sábanas y otros artículos de *lino*, son excelentes y muy apreciados desde antiguo por su aspecto y tacto fresco. Los artículos de *lino* pueden absorber hasta un 20 % de su peso de agua sin que su tacto cambie. Por otra parte son capaces de secarse muy fácilmente, liberando la humedad a la atmósfera y las prendas de lino son excelentes para usarlas en climas cálidos. Los hilados y los artículos de lino no desprenden fibras fácilmente, por ser estas muy largas. Entonces los paños de *lino*, al no liberar fibras que puedan quedar adheridas, son especialmente indicados para limpiar cristales, lentes, instrumentos ópticos y objetos delicados.

Debido a nuevos procesos de terminación hay ahora muchas telas de lino que permiten a los diseñadores crear una gran variedad de prendas muy atractivas, de variados colores, gran suavidad, tacto agradable y excelente "caída". Existen telas de lino con tratamientos impermeables que las hacen ideales para confeccionar elegantes prendas de lluvia. La mezcla de lino con "*Lycra*" permite obtener excelentes prendas elásticas. La mezcla de lino con *seda* produce artículos de magnífico aspecto. El "*lino algodónizado*" (*hilado hecho con fibra de lino cortada al mismo largo del algodón y mezclada con este o con rayón viscosa*) permite elaborar artículos de aspecto muy similar a los de lino puro pero a mitad de precio.



Figura 2.92 - Cosechando lino (reproducido de "BASF Reportes Agrícolas 3/1990)

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Handbook of Textile Fibres", J.Gordon Cook, Marrow Techn. Library, Durham, England, 1984,
- 2- "Bright Future for Jute", Textile Horizons, October 1989
- 3- "Ramie. A Unique fibre with great Potential", Textile Horizons, October, 1989
- 4- "Jute Economy Faces Drastic Industrial Restructuring", Textiles, 3/1993
- 5- "Hemp- ¿A Fibre for the Future?", Textile Magazine, 1994
- 6- "El Lino: Aspectos Técnicos de Producción", Masters of Linen, 1995
- 7- "Fibras Bastas", International Textile Bulletin (ITB), 1/2000
- 8- "Bast and Other Plant Fibres", R.R.Frank, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>

MUSEOS

- 1- "Museo Nacional del Lino", E. Sabbelaan 4, 8500 Kortrijk (Courtay), Bélgica

10.0.0- OTRAS FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL

Además del *algodón* y del *lino* se utilizan otras *fibras vegetales* para aplicaciones textiles. Algunas se conocen desde antiguo, otras se comenzaron a utilizar más recientemente. En la Tabla 2.33 se indican las fibras textiles vegetales más importantes. Comentaremos someramente cada una de estas, con excepción del algodón y del lino que ya fueron considerados en las Secciones 8.0.0 y 9.0.0 respectivamente.

TABLA 2.34 * FIBRAS TEXTILES VEGETALES MÁS IMPORTANTES

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	ORIGEN	LARGO en milímetros			DIÁMETRO (*) en micrones		
			Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
ALGODÓN	<i>Gossypium spp.</i>	Semilla	10	50	25	14	21	19
KAPOK o CEIBA	<i>Ceiba pentandra</i>	Semilla	15	30	19	10	30	18
COCO	<i>Cocus nucifera</i>	Fruto				10	24	20
ANANÁ o PIÑA	<i>Ananas sativa</i>	Hoja	2	10	3,3	3	13	6
FORMIO	<i>Phormium tenax</i>	Hoja	2	11	6	5	25	13
ABACA o MANILA	<i>Musa textilis</i>	Hoja	20	120	270	10	32	24
HENEQUÉN	<i>Agave fourcroydes</i>	Hoja						
SISAL	<i>Agave Sisalana</i>	Hoja	0,8	7,5	3	7	47	21
CAÑAMO	<i>Cannabis sativa</i>	Hoja	5	55	25	13	41	25
LINO	<i>Lino usitatissimum</i>	Tallo	8	69	32	8	31	19
RAMIO	<i>Boehmeria nivea</i>	Tallo	60	250	120	17	64	40
YUTE	<i>Corchorus olitorius (**)</i>	Tallo	0,75	6	2,5	5	25	18
KENAF	<i>Hibiscus cannabinus</i>	Tallo						

(*) Diámetro aparente, (**) Existen también otras variedades, p.ej. *Corchorus capsularis*

10.1.0- KAPOK

El Kapok (*Ceiba pentandra*), llamado también Ceiba, es un árbol majestuoso que se destaca y sobresale en las florestas tropicales con alturas de 60 a 70 metros. Posee raíces poderosas que se extienden varios metros. El tronco, de superficie de color gris y con largas espinas, es derecho, cilíndrico y tiene, generalmente, unos 3 metros de diámetro. Las ramas crecen horizontalmente y se extienden largamente.

El árbol es originario de México, América Central, el Caribe y el norte de Sudamérica. Era un símbolo sagrado en la mitología Maya y actualmente es símbolo nacional de Puerto Rico. La variedad *C. pentandra* var. *guineensis* se ha propagado también en la floresta tropical del África Occidental, el sudeste asiático, la península malaya y el archipiélago indonesio.

Las semillas, de color marrón, son redondas y crecen en vainas de aspecto leñoso. Dentro de la vaina las semillas están rodeadas de fibras blancas similares a las de algodón. Estas fibras, llamadas a veces "algodón de Java", son muy livianas, inflamables y resistentes al agua. No pueden ser hiladas fácilmente y entonces se usan para relleno de chalecos salvavidas, almohadas, acolchados, bolsas de dormir, tapicería, etc. Otra fibra, muy similar, de color más oscuro y que flota menos en el agua, se encuentra en el árbol *Bombax malabarica*, que abunda en la India, lo que se le llama Kapok hindú. Estas fibras han sido casi totalmente remplazadas por las fibras hechas por el hombre. El aceite de semilla del Kapoc se utiliza para la elaboración de jabón.



Figura 2.93 KAPOK o CEIBA



Figura 2.94- KAPOK o CEIBA (hojas y frutos)

10.2.0- COCO

El fruto de la palma (*Cocos nucifera* Linnaeus, *Arecaceae*) tiene una corteza fibrosa que rodea la nuez o coco. Un tercio de esta corteza, aproximadamente, está constituido por fibras. Cuando el fruto se cosecha inmaduro o verde, de la corteza fibrosa se pueden obtener fibras de color blanco a amarillo, delgadas, flexibles y huecas, con paredes constituidas casi solo de **celulosa**. Cuando el fruto madura, las fibras, por deposición de **lignina** en sus paredes, se hacen más gruesas y más resistentes a la tracción y a la abrasión, tomando un color que va del amarillo al marrón. La finura de estas fibras es de alrededor de 20 micrones y su largo de unos pocos milímetros.

Para separar las fibras blancas, se sumerge la corteza inmadura en tinas con agua o en la orilla de un río (*"enriado"*). Durante el tiempo, generalmente prolongado, que dura este remojo, se produce el ataque por microorganismos de la materia orgánica que mantiene unida a las fibras. Luego las fibras se liberan batiendo y golpeando la pulpa que resulta de este remojo. Las fibras secas, limpias y suficientemente elásticas como para poder insertarles torsión, están prontas para hilar. Pueden ser blanqueadas y teñidas con los mismos tipos de colorantes que tiñen el algodón. Con ellas se elaboran cuerdas, carpetas y otros artículos.

Las fibras maduras de color marrón tienen menos celulosa y más lignina que el lino y por tanto son más resistentes pero menos flexibles que él. Se usan en la elaboración de cepillos, felpudos, no tejidos producidos por punzonados o por unión de las fibras con látex natural o sintéticos para elaborar alfombras, rellenos, mantas antishock o antiruido, etc., especialmente para la industria automotriz. La fibra de coco es bastante resistente a la humedad y es de las pocas fibras naturales que resiste el agua salada de mar.

La producción mundial de fibra de coco es aproximadamente 250,000 toneladas al año. La India produce un 60% y Sri Lanka el 36 % de la producción mundial. Un sub producto muy importante es la **copra** que se obtiene rompiendo la nuez o coco propiamente dicho, y secando al sol o artificialmente la pulpa o endosperma interna. De la copra se obtiene aceite por prensado o extracción con solvente. El residuo que queda después de la extracción del aceite se utiliza en raciones para alimentación animal.

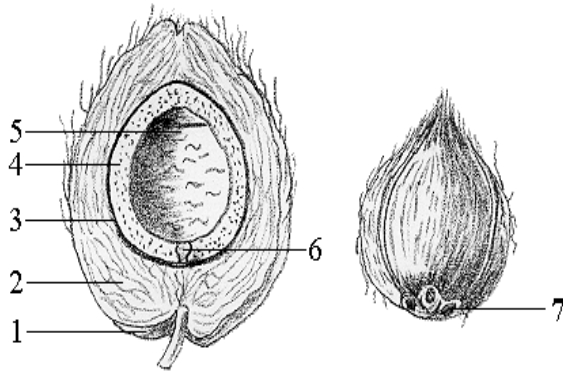


Figura 2.95



Figura 2.96

1- **EXOCARPIO** : piel externa, delgada y de color amarillo marrón. 2- **MESOCARPIO**: corteza fibrosa. 3- **ENDOCARPIO**: cáscara dura. 4- **ENDOSPERMA**: pulpa blanca, rica en aceite, de 1 a 2 cm de espesor o "Copra". 6- **GERMEN**. 7- **POROS**

10.3.0- ANANÁ

El ananá es uno de los cultivos americanos más antiguos y pertenece a la familia de las *Bromeliaceae*. La planta es originaria del Brasil, Bolivia, Perú y Paraguay y se ha extendido a otras regiones. El fruto es conocido también con el nombre de "piña" por su similitud con el fruto del pino y en Brasil se le llama "abacaxi", nombre que deriva del guaraní.

La fibra de las hojas de la planta de ananá está considerada como una de las más suaves y delicadas entre las fibras textiles. Las fibras, que pueden tener unos 60 cm de largo, son generalmente obtenidas raspando las hojas con una herramienta especial y luego son anudadas unas con otras para obtener largos filamentos. Según de que parte de la planta sea la hoja, la fibra se clasifica en calidad A, B y C. La fibra es de aspecto lustroso y color blanco cremoso, lo que la asemeja, en parte a la seda y en parte al lino. Es fácil de teñir y tiene una resistencia excepcional a la tracción en ambientes húmedos y salinos. En Filipinas existe una importante industria artesanal que produce prendas de alta calidad, livianas y de fácil cuidado, como el tradicional *Barong Tagalog*, (*traje de boda*) y otras prendas formales y elegantes. Se usa también para manteles, colchas y otros artículos para los que el bajo peso, el lustre y la resistencia signifiquen una ventaja. Con la fibra de ananá se pueden obtener también papeles de bajo gramaje, muy suaves y plegables.

Es interesante señalar que de la hoja del *curauá* - una planta nativa de la Amazonia que pertenece también a familia de las Bromeliáceas, es decir emparentada con el ananá - se obtiene una fibra que está siendo muy utilizada actualmente en Brasil como refuerzo en "composites", por ser menos abrasiva y mucho más barata que la fibra de vidrio utilizada para esos fines.



Figura 2.97- CURAUÁ

Figura 2.98- FORMIO

10.4.0- FORMIO

El *formio* (*Phormium tenax*) es una planta herbácea de hoja perenne que forma hermosas matas. Muy resistente y atractiva se desarrolla en suelos húmedos y como planta de jardín es muy ornamental. Se ha cultivado para uso textil ya que de sus hojas se extraen fibras, llamadas a veces *lino de Nueva Zelanda*, utilizadas para trenzar, hacer cestos, canastas, etc.

10.5.0- ABACA (Manila)

La *abaca*, llamada también cáñamo de Manila o *manila*, pues es originaria de las Filipinas. En este país se producen actualmente alrededor 50.000 toneladas por año de fibra. Hace unos 30 años la planta se comenzó también a cultivar en Ecuador, que ahora produce unas 11.000 toneladas año. La planta es muy similar a la del banano, con la que se le confunde frecuentemente (ver Fig.). Cuando está completamente desarrollada consta de 12 a 30 ramales de unos 4 a 6 metros de largo, de los que se extraen las fibras, generalmente por raspado con herramientas apropiadas.

El comercio internacional de la *abaca* o *manila* comenzó alrededor de 1820, compitiendo con el cáñamo y el lino en la elaboración de cordeles marineros. Estos cordeles hechos de abaca eran muy apreciados por su bajo peso, unido a su gran resistencia a la tracción y al agua de mar. Con el advenimiento del henequén primero y, luego de las fibras sintéticas, su uso para estas aplicaciones fue decayendo. Actualmente se utiliza mucho en la elaboración de papeles especiales como los utilizados para las bolsitas de té y en otras aplicaciones de la industria alimentaria. Se utiliza también para billetes de banco, filtros de cigarrillos y papel de carta de alta calidad.

10.6.0- HENEQUÉN

La planta de *henequén* (*Agave fourcroydes*) es un cactus que se cultiva en los estados mexicanos de Yucatán, Veracruz y Tamaulipas (*otras variedades de agave se utilizan para hacer la bebida alcohólica conocida como tequila*). De las hojas del henequén se pueden obtener fibras similares a las de otro agave también originario de Yucatán, el *sisal* (*Agave Sisalana*). Ambas plantas son de aspecto similar pero las fibras de *henequén* son de calidad algo menor que las de *sisal*. Los mayas usaban el henequén para hacer cordones, carpetas y alfombras. A mediados del siglo XIX, se produce un gran desarrollo de su cultivo y se instalan en Yucatán fábricas y haciendas con grandes plantaciones. La extraordinaria demanda de fibras duras en el mercado internacional, principalmente para la industria cordelera norteamericana permitió a los hacendados henequeneros amasar grandes fortunas. El 90% de las sogas y bolsas usadas en el mundo, eran producidas con esta fibra que era llamada "oro verde". El henequén fue utilizado para confeccionar bolsas y cuerdas de diferentes tamaños como cordeles finos para hamacas, sogas para amarrar fardos y poderosos cables para sujetar los barcos a los muelles del mundo. La principal característica del henequén es su dureza y resistencia. Es lo suficientemente fuerte para sostener grandes cargas de peso y no se rompe bajo circunstancias en las que muchas fibras sintéticas sí lo hacen.

Sin embargo, el valor del henequén decayó durante la primera guerra mundial, y nunca volvió a recuperar la popularidad que gozaba anteriormente. El advenimiento de las fibras sintéticas y el cultivo de la planta en Brasil, Madagascar, Tanzania y Manila, contribuyeron al decaimiento de esta industria en Yucatán. Hoy en día algunas haciendas son solo testimonio de la opulenta época pasada y han sido restauradas como hoteles, paradores turísticos y museos. Por otra parte, la historia moderna de la producción de henequén presenta grandes altibajos. En México, en 1960 se produjeron 160,000 toneladas, en 1970 la cantidad se redujo a 73,000, luego subió

ligeramente a 76,000 en 1980, pero en 1990 tan sólo se produjeron 35,000 toneladas. Hoy en día se estima que la producción está cerca de las 15.000 toneladas. El costo de la fibra tuvo un incremento del 45% de 1994 a 1995, pero este aumento no se trasladó al precio del producto final.



Figura 2.99- Abaca o Manila



Figura 2.100- Sisal

10.7.0- SISAL

El *sisal* (*Agave sisalana*) es una planta con hojas de 1,5 a 2 metros de largo (ver Fig. 2.95), similar en su forma a la planta de henequén. Es originaria, como este, del Yucatán donde se cultivaba exportándose por el puerto de *sisal*, que le dio su nombre. Si bien ya no es tan importante en Yucatán, donde se cultiva preferentemente el henequén, el *sisal* se extendió por todo el mundo. Actualmente se cultiva en Brasil, en varias islas del Caribe y en varios países africanos y asiáticos. Las hojas se trituran en máquinas especiales y luego se lavan con agua, eliminando todo el material no fibroso. Se secan al sol o artificialmente, se peinan y clasifican. Se obtienen fibras suaves pero bastante rígidas, de longitud variable y de color amarillo.

El *sisal* ha sido muy usado en cordelería debido a su resistencia a la tracción, su durabilidad, su relativa elasticidad, su afinidad por ciertos colorantes y su resistencia al agua de mar. Como el cáñamo y el henequén, fue muy usado hasta que aparece el polipropileno y otras fibras sintéticas. Sin embargo, debido a la muy grande demanda mundial de cuerdas y cordeles de todo tipo, el sisal sigue conservando un 20 % del mercado.

Se usan tres grados de *sisal*. El de menor calidad es empleado en la industria papelera, el de calidad media para cordelería y, el de calidad más alta, en hilados que luego se utilizan, a veces mezclándolo con lana y/o acrílico, en la elaboración de alfombras y carpetas de mesa. Como no acumula cargas estáticas no retiene el polvo y se limpian fácilmente con aspiradoras. Tiene un alto "regain" y por tanto absorbe humedad del medio ambiente con expansión de sus dimensiones. No se recomienda entonces su uso en áreas expuestas a la lluvia. Recientemente el sisal se ha utilizado como sustituto del asbesto y la fibra de vidrio en la industria automotriz.

La producción mundial de sisal para el año 2003 fue de (de 125.000 tons/año en Brasil, 40.000 tons/año en China, 22.000 tons/año en Tanzania, 22.000 tons/año en Kenya, 8.000 tons/año en Madagascar y pequeñas cantidades producidas por Sud Africa, Mozambique, Haiti, Venezuela y Cuba. El *sisal* ocupa el sexto lugar entre las fibras textiles vegetales. Constituye el 2% de la producción mundial total de fibras vegetales, incluido el algodón. Según las estadísticas de la FAO (*Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas*, www.fao.org) es la segunda fibra vegetal en importancia después del algodón.

10.8.0- CAÑAMO

El *cannabis* es una planta originaria de Asia central mencionada ya en un escrito de la corte del emperador Shen Nung que data del 2737 a.C. recomendándola para el tratamiento de la malaria y los dolores reumáticos. Los asirios conocían sus propiedades anestésicas y se cultivó extensamente en la India siendo mencionada en los escritos de Sustra, el tratado más antiguo de medicina hindú. En los libros de los vedas se le atribuye orígenes divinos y se le denomina Vilahia, que significa "productora de vida". En América se considera que fue introducida por los europeos. En sus orígenes, el Cannabis tenía dos variedades principales: **índica** y **sativa** y algunos señalan una tercera variedad: la **rudelaris**. Actualmente, sin embargo, existen semillas de Cannabis de más de un centenar de variedades diferentes, desarrolladas genéticamente a partir de hibridaciones.

El **cañamo** y la **marihuana** son miembros de la familia **cannabis**. La **marihuana** contiene alrededor de 400 sustancias químicas diferentes, 60 de las cuales están estructuralmente relacionadas con el **tetrahidrocanabinol delta-9** ó **THC**, que es un psicoactivo. El **cañamo** (*Cannabis sativa*) en cambio, contiene un muy bajo contenido de **THC**. La planta de **cañamo** tiene un ciclo de crecimiento relativamente corto (120 días) y requiere moderadas cantidades de agua y fertilizantes. Es uno de los cultivos más económicos y productivos que se conocen y se puede cultivar en una gran variedad de terrenos y climas. En Europa, p.ej. se puede cultivar desde el norte hasta el sur, Sin embargo, el hecho de que sea muy parecida a la planta de marihuana, ha llevado a algunos países (como p.ej. el de U.S.A.) a prohibir su cultivo, a pesar de que muchos sostienen que existen entre ellas tantas otras diferencias que resulta muy fácil diferenciarlas.

La **fibra** de la **hoja** del **cañamo** ha sido utilizada, desde la Antigüedad, principalmente para hacer **cordeles** y telas para las velas marineras. Pero a pesar de ser una fibra **áspera**, con sus hilados se puede también tejer telas suaves, con urdimbres de cañamo o de cañamo y lino y, con tramas de algodón o de lana. Las modas recientes que preconizan el uso de artículos textiles ecológicos le han dado un nuevo impulso al **cañamo** y también al **ramio**.



Figura 2.101- Planta de Cañamo Figura 2.102- Cannabis Sativa L.

La planta de cañamo puede alcanzar 4 metros de altura y sus hojas, lanceoladas y dentadas, 15 cm de largo.

10.9.0- RAMIO

El **ramio** (*boehmeria nivea*) es una planta de la familia de las urticáceas, posee tallos herbáceos y fibrosos, con hojas dentadas y puntiagudas, flores verdes y fruto elipsoidal carnosos. El **ramio** se cultiva principalmente en China y en Brasil (*Estado de Paraná*). Es un cultivo de alto rendimiento y más económico que el **lino** pero la fibra requiere un intenso tratamiento de desgomado previo a la hilatura que hace que termine costando más que el **algodón**.

Las fibras naturales celulósicas que se obtienen de tallos de plantas, como es el caso del *ramio*, (así como del lino, el yute y el kenaf), se conocen como **fibras bastas**. A diferencia del algodón, que es una fibra de semilla y que es *celulosa* casi pura, las fibras provenientes de tallos tienen una mayor cantidad de **sustancias colorantes, hemicelulosas y ligninas**. Estas dos últimas sustancias actúan como cemento de unión entre las fibras. Las **fibras bastas** requieren entonces procesos de separación más complejos y blanqueos químicos más intensos.

Los tejidos de *ramio* son frescos y tienen elevada resistencia al moho y a otros microorganismos, poseen un tacto algo áspero y tienen tendencia a arrugarse, y son menos confortables que las de lino. Las telas hechas con mezcla de algodón y ramio son suaves y poseen un brillo especial. Las telas de ramio son conocidas en Oriente también con el nombre de *chinagras*. Es conveniente lavar las prendas de ramio en seco, para evitar modificaciones en sus dimensiones y en su "caída". El ramio se emplea también en la elaboración de artículos destinados a sufrir condiciones atmosféricas extremas y rozamiento intenso, como p.ej. cintas transportadoras, velas marineras y toldos.



Figura 2.103 – Planta de Yute



Figura 2.104 – Planta de Ramio

10.10.0- YUTE

La planta del **yute** pertenece al género *Corchorus*, familia *Malvaceae*. La fibra se obtiene del tallo de la planta e integra por tanto, junto con el *lino*, el *kenaf*, el *cañamo* y el *ramio*, el grupo de las llamadas **fibras "bastas" (o de tallo)**. Es una de las fibras vegetales más baratas, de **gran resistencia a la tracción, baja extensibilidad y brillo sedoso**. Ocupa el segundo lugar, atrás del algodón, en la producción mundial de fibras textiles vegetales. Es una fibra celulósica con un muy alto contenido de lignina. Existe en dos variedades: el yute Tossa (*Corchorus olitorium*), de color dorado, y el yute blanco (*Corchorus capsularis*) de color claro plateado.

El 85% del **yute** se cultiva en el delta del río Ganges, en Bangladesh y el resto en la India, China, Nepal, Myanmar (*Birmania*) y Bután. Requiere temperaturas entre 20° y 40° C, 75 a 85 % de humedad relativa del aire y un régimen de lluvias de aproximadamente de 50 a 80 mm semanales. Cuando el cultivo está pronto para la cosecha, se cortan los tallos, se atan en manojos y se mantienen en agua durante 20 días (**"enriado" o "retting"**) para separar las fibras del resto de la materia orgánica. Luego se lavan las fibras con abundante agua limpia, se secan al aire, se clasifican por su largo, su resistencia a la tracción, su color (**crema a marrón**), etc. y finalmente se envía en fardos a hilanderías y otras fábricas.

Durante siglos el **yute** formó parte de la cultura bengalí, que hoy es compartida por *Bangladesh* y *Bengala Occidental (India)*. Durante los siglos XIX y XX la mayor parte del yute se exportaba a Gran Bretaña donde era procesado en fábricas textiles ubicadas mayoritariamente en Dundee y su región vecina. El **yute** se utilizaba en gran cantidad, entre otras aplicaciones, para la elaboración de una tela burda, la **"arpillera"** con la que se elaboraban las bolsas para envasar

casi toda la producción agrícola del mundo (*granos, hortalizas, etc.*). Se utilizaba también, y se utiliza aún, para elaborar la suela de calzados frescos y económicos (*nuestra "alpargata" criolla*). Aproximadamente en 1970 el *yute* empieza a sufrir la competencia de las fibras sintéticas, especialmente el *polietileno*, con el que confeccionan bolsas de "*plastillera*" mucho más baratas que las de "arpillera". Esto provocó la ruina de los campesinos plantadores de la "fibra dorada", como se le llamaba al *yute*, que sumió a *Bangladesh* en una crisis económica y social en la que aún se debate. A partir del año 2004 se insinúa una relativa recuperación del negocio del *yute*.

El *yute*, por su relativo *bajo precio* y su *gran resistencia a la tracción*, se utiliza en otras aplicaciones muy importantes, p.ej. para mezclarla con resinas sintéticas, como fibra de refuerzo, para elaborar "*composites*" muy usados en la industria automotriz y otras aplicaciones. Por ser biodegradable, es muy usada también para la elaboración de envases para plantas de viveros, para elaborar *geotextiles* para colocar en suelos donde es necesario prevenir la erosión por haber sido transitoriamente deforestados o para proteger la siembra o para controlar malezas. Se utiliza también para elaborar *cordeles*, alfombras, base para telas plásticas o linoleums y como fibra reforzadora en la elaboración de *papeles especiales*, etc. El yute tiene un "regain" relativamente bajo, buenas propiedades antiestáticas y aislantes debido a su baja conductividad térmica, eléctrica y acústica. Puede teñirse con los mismos colorantes que se tiñe el algodón. Se puede tratar con soluciones de soda cáustica y amoníaco (*en forma similar al mercerizado del algodón*) mejorando mucho su flexibilidad y aspecto lo que lo hace más apto para mezclarlo con otras fibras, como p.ej. la *lana*. Las telas tejidas solo con yute tienen mala "caída" y baja recuperación de arrugas. Esto puede mejorarse mezclando el yute con lana y/o algodón. Las telas de yute lubricadas con aceite castor mejoran mucho su tacto áspero y su "mano" quebradiza. Su resistencia a la tracción disminuye cuando se le moja. El yute amarillea o intensifica su color con la exposición prolongada a la luz del sol.

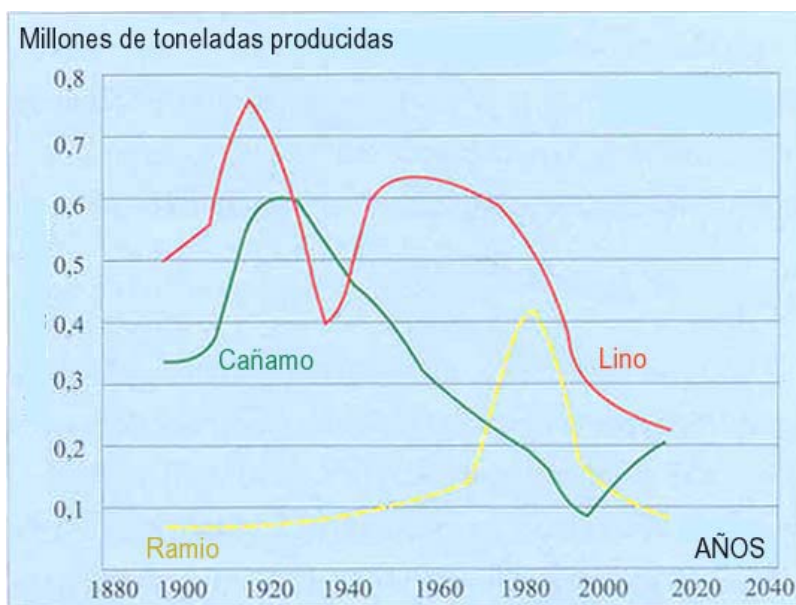


Figura 2.105 - Producción Mundial de algunas Fibras Bastas

10.11.0- KENAF

El *kenaf* (*Hibiscus cannabinus*) es una planta de la especie *Hibiscus*, familia de las *Malvaceae*, originaria, según algunos estudios, del sur de Asia y según otros del Sudán occidental. Es una planta que puede crecer en 4 o 5 meses, dependiendo de las condiciones del cultivo, con tallos de 1 a 2 cm de diámetro y que pueden alcanzar hasta 4 metros de altura. Se cultiva desde hace

mucho tiempo en la India, Bangladesh, Tailandia, Africa y en algunos países del sudeste europeo. El cultivo ha requerido tradicionalmente la utilización intensiva de mano de obra; sin embargo, recientemente, en USA se ha comenzado a cultivarlo y cosecharlo con métodos mecánicos.

Del *tallo* del *kenaf* se obtienen las fibras del mismo nombre, similares al *yute* en muchas de sus propiedades. De la corteza externa se obtiene una fibra mas gruesa y larga, de la médula interna una mas fina y corta. Los dos tipos de fibras se utilizan en diversas aplicaciones: las "bastas" o gruesas en cordelería, las más finas para hilar y tejer así como elaborar papeles especiales, más brillantes y vistosos. El rápido crecimiento de la planta hace que sea una muy buena y económica materia prima para la elaboración de pasta de celulosa. La fibra puede utilizarse también como absorbente y aislante en materiales "no tejidos", como refuerzo en "composites" y para el acondicionamiento de suelos. Las fibras finas y cortas de la médula se pueden mezclar, para muchos usos, con algodón y con fibras sintéticas como el polipropileno. De las semillas se obtiene también *aceite*, que no es comestible pero que es utilizado para algunas aplicaciones industriales. Sus hojas, con un contenido de proteínas similar al de la alfalfa, luego de ensiladas se utilizan para alimentación animal.

Para separar las fibras, los tallos deben ser sometidos a un proceso de "*enriado*" ("*retting*"), sumergiéndolos en piletas con agua, por varios días. Como consecuencia del ataque microbiológico que se produce naturalmente, se descomponen las ligninas, las hemicelulosas y las pectinas, sustancias estas que actúan como cemento de unión entre las fibras. La separación de las fibras puede hacerse también, en forma más rápida y eficiente, por medio de procesos microbiológicos controlados o de hidrólisis química.



Figura 2.106 – Plantación de Kenaf



Figuras 2.107 y 2.108 – Tallo y fibras de Kenaf

TABLA 2.35
PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNAS FIBRAS VEGETALES

FIBRA	Resistencia a la Tracción MPa	Módulo de Elasticidad (*) GPa	Alargamiento a la Rotura %	Densidad g/cm ³
LINO deshidratado	195	22,3	1,2	1,4
LINO verde	337	19,0	1,3	1,4
CAÑAMO deshidratado	195	16,3	1,1	1,4
CAÑAMO verde	173	7,5	1,9	1,4
SISAL	126	3,8	-	1,3
COCO	149	-	23,8	1,2
RAMIO	393	7,3	1,8	1,4
ACABA	74	2,2	2,2	1,2
CURAUÁ	502	11,8	11,8	1,2

(*) a la tracción

BIBLIOGRAFÍA

<http://www.google.com>
Wikipedia, the free encyclopedia

11.0.0- LANA



Figuras 2.109 y 2.110 , reproducidas por gentileza del SUL y de la "Society of Dyers and Colourists", respectivamente.

11.1.0- INTRODUCCIÓN

A fines del 2010 se estimaba la producción mundial de lana *sucia* en algo más de 2 millones de toneladas por año y la población mundial de ovinos en unos 1000 millones (*lo que daría un rendimiento promedio de 2 kg de lana por animal y por año*). Se estimaba también que las ventas al consumidor final, de artículos de lana en todo el mundo, era de alrededor de 80.000 millones de dólares (*datos de la IWTO, International Wool Textile Organization*).

POBLACION OVINA MUNDIAL POR PAIS * 2007	
CHINA	171:761.000
AUSTRALIA	85:711.000
NUEVA ZELANDA	39:122.000
REINO UNIDO	33:946.000
ESPAÑA	21:847.000
SUDAFRICA	21:275.000
ARGENTINA	15:880.000
BRASIL	15:600.000
PERÚ	15:000.000
URUGUAY	11:000.000
FRANCIA	8:499.000
ITALIA	8:227.000
TOTAL mundial:	1.097:000.000

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LANA LIMPIA * % * 2007	
AUSTRALIA	25,0
EUROPA	19,5
CHINA	14,8
NUEVA ZELANDA	13,7
ARGENTINA	4,0
URUGUAY	2,9
SUDAFRICA	2,3
OTROS	17,8
TOTAL	100,0
TOTAL, tons.:	1,2 millones

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FIBRAS TEXTILES en % * 2007	
QUÍMICAS	59,3
ALGODÓN	37,3
LANA	1,7
LINO	1,4
SEDA	0,2
TOTAL, tons.:	70 millones

11.2.0- ESTRUCTURA

La lana presenta una gran variación de *finura*, *largo* y *rizo*, dependiendo de la raza, la dieta, la sanidad y el clima. El *diámetro aparente* de las fibras más finas, de la raza de ovinos *Merino*, es de unos **18 μm** y el animal puede llegar a tener unas **9000 fibras por cm^2 de piel**. Las lanas más gruesas, como las de la raza *Romney Marsh*, pueden tener hasta **40 μm** de diámetro aparente. La *longitud* de la fibra, obtenida por esquila anual, varía de **7-8 cm** para las más finas, hasta **7-15 cm** o más para las más gruesas. El rizo también puede presentar una gran variación: entre **1 y 12 rizos por cm**. La fibra está formada básicamente por dos partes: la *médula* (o "cortex") que constituyen la mayor parte de la fibra y la *cutícula* que es la envolvente externa. El *color* de la lana va del blanco hasta el amarillo crema (*aunque hay lanas marrones y negras*) con *brillos* variables.

La *cutícula* es, aproximadamente, el 10% en peso del total de la fibra. Las células de la cutícula se superponen unas sobre otras como tejas o escamas y están orientadas hacia la punta de la fibra. Una fibra de lana observada al microscopio semeja el tronco de una palmera. Las escamas son responsables del "afieltrado" un fenómeno que ocurre cuando las telas o prendas de lana son sometidas a tratamientos húmedos calientes y/o pH extremos, con agitación mecánica. En esas condiciones se produce un rozamiento interfibrilar excesivo y las escamas de las fibras se van trabando unas con otras, el tejido se compacta y, en consecuencia, el espesor de la tela o de la prenda aumenta, con disminución del largo y del ancho. Existen una variedad de procedimientos patentados para eliminar o recubrir las escamas de la fibra de lana y evitar el afieltrado. Algunos de los procedimientos utilizan cloro o enzimas (*queratinasas*) para eliminar las escamas o resinas especiales para recubrirlas.

En general el espesor de la cutícula corresponde al de una simple célula, salvo en las zonas donde las células se superponen. La célula de la cutícula de la lana Merino es en general oblonga con dimensiones aproximadas de 20 x 30 x 0,5 μm . La observación microscópica de la sección de la fibra muestra que la cutícula está compuesta de una *exocutícula*, resistente a las enzimas, y una *endocutícula*, sensible al ataque por enzimas, ambas rodeadas por una *epicutícula hidrófoba* que hace que la lana sea impermeable al agua líquida pero no al vapor de agua. La lana alcanza un "regain" de saturación de 30-35 % y su contenido de humedad, generalmente alto, hace que prácticamente no genere electricidad estática.

La *médula* (o "cortex ") constituye el 90% del peso de la fibra y está formada por dos tipos de células: las del *ortocortex* y las del *paracortex*. Ambas partes tienen diferentes propiedades químicas y tintóreas. En el rizo, el *paracortex* está siempre ubicado por dentro del rizo mientras que el *ortocortex* está por fuera. Las células de la médula poseen un "complejo de la membrana celular" que actúa de "cemento" entre ellas y que las separa de la cutícula.

Las células de la médula tienen forma de huso y en general miden 95 μm de largo y 5 μm de diámetro. Están formadas por *microfibrillas* cilíndricas de alta cristalinidad, de 10 μm de largo y 0,3 μm de diámetro, todas empaquetadas en una matriz amorfa o de baja cristalinidad. Las microfibrillas están formadas por moléculas de *proteínas* de bajo contenido en azufre. La matriz en cambio está formada por queratinas de alto contenido de azufre. Las microfibrillas contienen grupos de, según diferentes autores, dos o tres cadenas de polipéptidos, α -espirales retorcidas conjuntamente. Las *microfibrillas* están agrupadas en "manojos" llamados *macrofibrillas* que a su vez están más empaquetadas en el *ortocortex* que en el *paracortex*. Es decir, en el *paracortex* hay más matriz amorfa que en el *ortocortex*. Las células de la médula tienen también restos de núcleo celular, que son más abundantes en el *paracortex* que en el *ortocortex*.

TABLA 2.36 - DIMENSIONES APROXIMADAS DE UNA FIBRA DE LANA MERINO, en μm

COMPONENTE	LARGO	ANCHO	DIÁMETRO	ESPESOR
Fibra	100.000	-	20	-
Célula de cutícula	30	20	-	0.5
Materia intercelular (*)	-	-	-	0.025
Célula cortical	95	-	5	-
Macrofibrilla	10	-	0.3	-
Microfibrilla	1	-	0.007	-
Protofibrillas (**)			0,0025	

(*) "Cell membrane complex" (**) α -hélice de tres cadenas polipeptidas

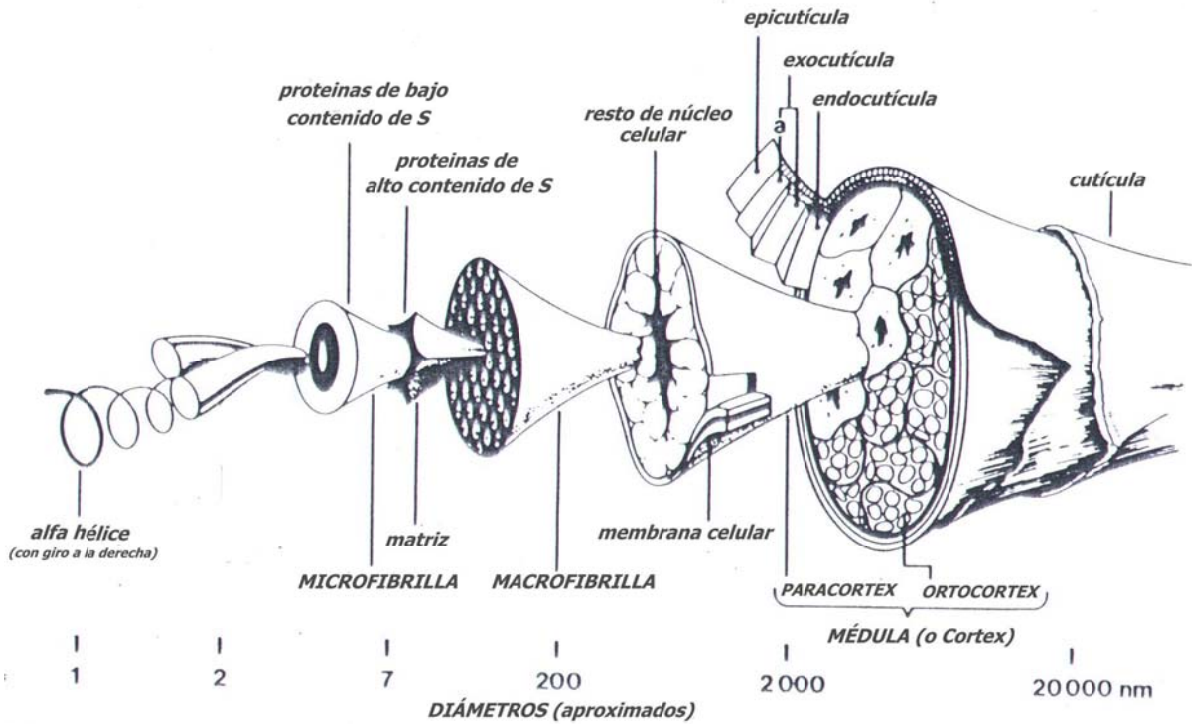


Figura 2.111

(Reproducida del libro "Wool Dyeing", David M. Lewis, con autorización de la "Society of Dyers and Colourists")

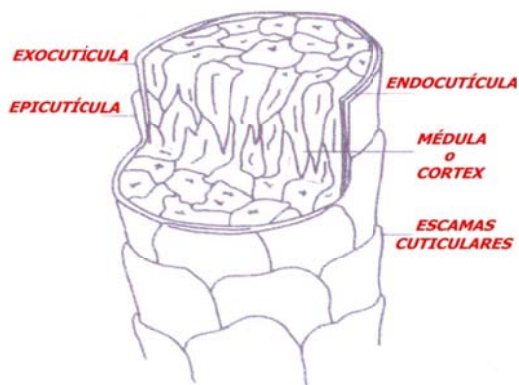


Figura 2.112

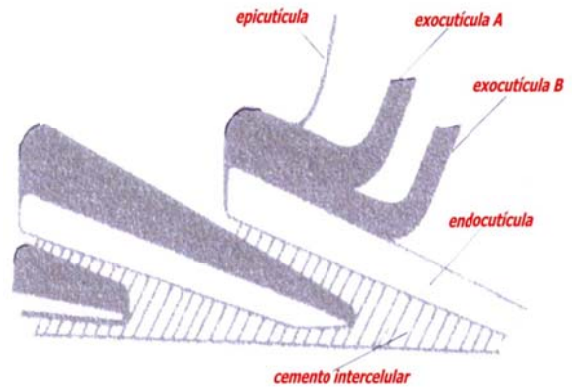


Figura 2.113



Figura 2.114

Imágenes reproducidas del libro "Wool Dyeing", David M. Lewis, con autorización de la "Society of Dyers and Colourists"

11.3.0- CARACTERÍSTICAS GENERALES

11.3.1- "FINURA" y SUAVIDAD

Con lana de cordero (*"lambs wool"*) se obtienen artículos muy suaves pues es una lana de animal joven y muy fina (*de bajo micronaje*). Las lanas finas son menos rígidas y por tanto "pinchan" menos. Las puntas de la lana de cordero son además, "naturales", es decir de primera esquila. Las puntas naturales también "pinchan" menos que aquellas que se generaron por una esquila anterior.

11.3.2- RIZO, RECUPERACIÓN ELÁSTICA y VOLUMINOSIDAD

La **voluminosidad** (*"bulk"*) es una característica muy apreciada pues permite una mejor apariencia y estructura de los tejidos y una mayor aislación térmica debido a la mayor retención de aire entre las fibras. Esta propiedad es muy apreciada en los tejidos de punto, especialmente aquellos hechos con hilados gruesos de poca torsión, y en las mantas, frazadas y alfombras. La cantidad de **rizo** y la **recuperación elástica** influyen en la voluminosidad. Estas propiedades presentan una gran variabilidad según la alimentación, raza, edad y salud del animal. Las lanas uruguayas p. ej. tienen una alta voluminosidad: 25 a 27 cm³/g. Por otra parte, se debe tener en cuenta que las lanas con mucha voluminosidad pueden tener mucho desperdicio en hilandería, especialmente en la operación de peinado, donde producen mayor cantidad de "noil" o "blousse".

11.3.3- ESTILO y CARÁCTER

El "**estilo**" de una lana de vellón es una apreciación en gran medida subjetiva. Las características que contribuyen al "**estilo**" son la forma y largo de la "mecha" del vellón, la cantidad y la definición del rizo, la forma de las puntas de las fibras, la influencia del medio ambiente (*p.ej., el color del polvo y su penetración*), *el color de la materia grasa, etc.* El "**estilo**" es, entonces, el resultado de características genéticas y ambientales, y recientemente se ha tratado de medirlo objetivamente con técnicas de análisis de imágenes (*p.ej. CSIRO Style Instrument*). El "**carácter**" está dado por la **cantidad de rizos por cm** de mecha y por la **amplitud de la curva del rizo**. El "**carácter**" influye mucho en el "**estilo**" y en el **Hauteur** del "**top**". Para la operación de peinado una gran **amplitud del rizo** es beneficiosa pero una gran **cantidad de rizos por cm**, no.

11.4.0- LAS QUERATINAS DE LA LANA

El espectro de difracción de rayos X, cuando la fibra de lana está en estado de reposo, muestra la estructura característica de **α -queratina** y cuando está sometida a tensión, la de la **β -queratina**. Los enlaces hidrógeno dentro de las moléculas de queratina, le dan a ésta una estructura helicoidal. Se rompen cuando la fibra es estirada y vuelven a formarse cuando la tensión cesa. Hasta el 5% de elongación la fibra posee una alta recuperación elástica con elasticidad completa y "creep" primario (*ver la Sección 5.0.0 - Propiedades mecánicas*). Las **queratinas** también se encuentran en el mundo animal en pelos, garras, uñas, pezuñas, cuernos, picos y plumas. Las plumas p.ej. están compuestas de **β -queratina** aunque no estén sometidas a tensión. Las **queratinas** de los mamíferos son todas **α -queratina** mientras que la de reptiles, aves e insectos pueden ser **α** ó **β** .

Se estima que la lana contiene unos 170 tipos de proteínas diferentes. Algunas de ellas deben clasificarse como “*no-queratínicas*” de acuerdo al contenido del aminoácido *cistina*. El menor contenido de cistina, y por tanto de enlaces disulfuro entre cadenas polipeptídicas, hace a las proteínas más lábiles y menos resistentes al ataque químico que las queratinas. En la queratina, como en cualquier proteína, las unidades monómeras, los **aminoácidos**, se unen por *condensación*, es decir por reacción del grupo *ácido carboxílico* con el *básico amino*, con eliminación de una molécula de agua, para formar un enlace *peptídico* $-CO-NH-$, y una larga cadena polimérica o cadena *polipeptídica*, con cadenas laterales $-R$ (ver Capítulo 3).

Las características de estructura interna de la fibra sumadas a las de la estructura de las moléculas poliméricas de la queratina, hacen que la lana tenga poca resistencia a la tracción longitudinal, pero una gran recuperación elástica. Después de la seda es la fibra con mayor índice de recuperación elástica (ver Cap. 2 “Fibras Textiles”; Secc. 5.0.0 “Propiedades Mecánicas”; 5.3.0 “Comportamiento Elástico”, Tabla 2.24; 5.4.0 “El Diagrama Esfuerzo-Deformación”), Fig.2.69). La cantidad y la forma del rizo contribuyen a la recuperación elástica.

La lana lavada tiene un alto contenido de queratinas. Por hidrólisis de las queratinas se obtienen **18 aminoácidos**. La cantidad relativa de estos aminoácidos puede variar de una muestra a otra para distintas zonas de un mismo vellón, entre animales de una misma majada, por diferencias de raza así como por el estado sanitario y la alimentación del animal.

Las **proteínas** extraídas de la lana, después de someterlas a un proceso de reducción y carboximetilación pueden separarse en tres fracciones. Una referida como **SCMK-A** (“S-carboxymethylkerateine-A”) agrupa a las proteínas de bajo contenido en azufre. La **SCMK-B** (“S-carboxymethylkerateine-B”) contiene dos grupos de proteínas: las de alto y muy alto contenido de azufre. Una tercer fracción contiene otro grupo de proteínas, de alto contenido en residuos de **glicina** y **tirosina**. Las proteínas de bajo contenido en azufre tienen conformación helicoidal y se encuentran preferentemente en las microfibrillas mientras que las de alto contenido de azufre se encuentran en la médula. Las de alto contenido en glicina y tirosina se encuentran también en la médula y en el “cemento” intercelular (ver Capítulo 3).

TABLA 2.37 - LANA: CONTENIDO DE AMINOACIDOS (*)

AMINOACIDO	μmol/g
Alanina	417-512
Arginina	600-620
Aspargina (y ácido aspártico) (1)	500-600
Cistina (2)	400-500
Cisteina	20-40
Fenilalanina	208-257
Glicina	757-815
Glutamina (y ácido glutámico) (1)	1020-1049
Histidina	58-82
Isoleucina	234-318
Leucina	583-721
Lisina	193-277
Metionina	37-47
Prolina	522-633
Serina	860-902
Tirosina (3)	349-380
Treonina	547-572
Triptófano (4)	35-44
Valina	423-546

(*) Composición aproximada obtenida por hidrólisis ácida de lana merino. La hidrólisis ácida de las proteínas convierte los residuos de aspargina en ácido aspártico y los de glutamina en ácido glutámico. La hidrólisis enzimática permite la identificación individual de cada uno de estos aminoácidos. (2) El contenido en cistina de la queratina, y por tanto el de azufre, varía con la alimentación del animal. El contenido en cistina influye especialmente en las propiedades de la fibra. (3) El contenido en tirosina varía mucho con la raza del animal. (4) El triptófano se destruye con la hidrólisis ácida y debe ser determinado por otros métodos.

11.5.0- EL CARÁCTER ANFÓTERO DE LAS QUERATINAS

Las *queratinas*, como otras proteínas, contienen grupos *básicos* y *ácidos* y son, por tanto, *anfóteras*. El carácter *ÁCIDO* de la lana es principalmente debido a los grupos *carboxílicos* presentes en los "residuos" correspondientes a los ácidos *aspártico* y *glutámico* así como a los grupos *carboxílicos terminales* de cadena. Estos últimos, sin embargo, contribuyen muy poco al carácter ácido ($10 \mu\text{moles/g}$). Los grupos carboxílicos, ionizados en un medio suficientemente alcalino, atraen a los *colorantes básicos* o *catiónicos*.

El carácter *BÁSICO* de la lana es debido principalmente a los grupos *amino* presentes en los "residuos" de *arginina*, *lisina* e *histidina* y en menor medida a los grupos *amino terminales* de los extremos de las cadenas peptídicas. Todos estos grupos básicos, protonizados en un medio suficientemente ácido, atraen a los grupos sulfónicos y carboxílicos de los *colorantes ácidos*. Además, los "residuos" de *lisina* e *histidina* son sitios importantes para la formación de enlaces covalentes con los *colorantes reactivos*. Hay un *balance* aproximado entre los grupos ácidos y básicos. Cuando este balance se rompe se producen cambios importantes en algunas propiedades de la fibra como la resistencia a la tracción, la supercontracción y la capacidad de aceptar el fijado dimensional ("*settability*"). Esto es debido principalmente a la disminución de interacciones electrostáticas e hidrofóbicas internas y a la ruptura de enlaces hidrógeno.

En medio acuoso, cuando existe un equilibrio entre la ionización de los grupos ácidos y básicos, el pH corresponde al punto isoiónico de la proteína, muy próximo al punto isoelectrico. Para la lana, el punto isoelectrico se verifica, a 20°C, en el entorno de pH 4.9. En el punto isoelectrico la lana carece de cargas eléctricas globales y presenta la menor reactividad y solubilidad (*ver Capítulo 3*).

11.6.0- ENLACES ENTRE LAS CADENAS PEPTÍDICAS DE LAS QUERATINAS

11.6.1- Enlaces disulfuro

Las *queratinas* se caracterizan por su alto contenido en *cistina* (*aprox. 500 $\mu\text{moles/g}$ en las queratinas de la lana*). Los *enlaces disulfuro* de los "residuos" *cistina* forman puentes entre las cadenas peptídicas adyacentes. Estos enlaces *covalentes* son los responsables de la relativamente alta resistencia en húmedo, del bajo hinchamiento lateral y de la insolubilidad de la lana. A pesar de que el enlace disulfuro es bastante estable, puede romperse y restablecerse fácilmente bajo la acción del calor y el agua. La rotura de los enlaces disulfuro y la formación de los mismos en otros lugares, creando nuevos puentes entre las cadenas peptídicas, es de especial importancia en procesos industriales de "terminación" de las telas de lana, como p.ej. el fijado dimensional o "setting". Si, como ha sido sugerido, todas las cadenas peptídicas adyacentes están unidas entre si por puentes disulfuro, una fibra de lana podría considerarse como una única molécula gigante de queratina. Aunque los "residuos" *cistínicos* son responsable de la mayoría de los puentes entre cadenas peptídicas adyacentes, existen también otros tipos de enlaces puentes *covalentes*. Los "residuos" *cisteínicos*, p.ej., catalizan la formación de nuevos enlaces disulfuro, por un mecanismo de intercambio "grupo tiol / enlace disulfuro". También proveen sitios adicionales para la fijación de colorantes reactivos.

11.6.2- Enlaces isopéptidicos

Es otro enlace *covalente* que une un grupo ϵ - aminoácido de "residuo" *lisina* con el grupo γ - carboxilo de "residuo" *ácido glutámico* (i), o, menos frecuentemente, al grupo β - carboxilo de un "residuo" *ácido aspártico* (ii) :

11.6.3- Enlaces di-tirosina y tri-tirosina

Los "residuos" *tirosina* también pueden participar en el "crosslinking" de la queratina, formando uniones *covalentes* de di - y tri - tirosina. Este tipo de "crosslinking" se encuentra, en gran proporción, en la proteína "resilin", de consistencia similar a la goma natural, presente en la cutícula de los insectos

11.6.4- Enlaces salinos

Los "residuos" aniónicos ácido glutámico y ácido aspártico, que tienen grupos carboxílicos libres, forman puentes salinos con los "residuos" catiónicos arginina, lisina e histidina que tienen grupos amino libres. Por tanto son posibles 6 enlaces electrovalentes distintos. Si bien los enlaces salinos son de menor energía que los covalentes, juegan un rol muy importante en las propiedades mecánicas y fisicoquímicas de la lana. En la tintura de la lana, estos enlaces se rompen para interactuar con los colorantes ácidos y básicos.

11.6.5- Enlaces hidrógeno

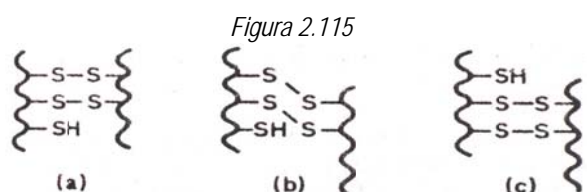
El átomo de hidrógeno de los grupos -NH presentes en las cadenas peptídicas, posee afinidad no solo por el átomo de nitrógeno al que está unido, sino también a átomos de oxígeno próximos. Así cuando un grupo -NH se encuentra próximo a un grupo -CO se forma un *enlace* o "*puente*" de hidrógeno. Los *enlaces hidrógeno* están en un plano perpendicular al de las uniones salinas y disulfuro. Se trata de enlaces débiles pero como existen en gran cantidad, juegan un rol muy importante en las propiedades mecánicas y fisicoquímicas de la lana.

11.6.6- "Enlaces" hidrofóbicos

Pueden ocurrir interacciones hidrofóbicas entre grupos de cadenas laterales no *polares* (como las de la *alanina*, *fenilalanina*, *valina*, *leucina* e *isoleucina*) con exclusión de las moléculas de agua que tuvieran asociadas. Este tipo de unión contribuye a la resistencia mecánica de la queratina, especialmente a altos contenidos de humedad. Es importante en el "fijado dimensional" y contribuye al gradual secado de las telas, característico de la *lana* (ver Capítulo 3).

11.7.0- MODIFICACIONES QUÍMICAS DE LA LANA

Entre las modificaciones químicas más importantes que puede sufrir la lana están las producidas por la acción del agua y el calor. La lana está expuesta a la acción del agua y el calor desde que emerge del folículo y durante todo su crecimiento. Pero es en las diferentes etapas de su procesamiento industrial donde está sometida a acciones más severas. El lavado, el batanado, la tintura, el fijado y el secado son quizás las más agresivas. Los artículos finales también están frecuentemente sometidos al agua y al calor, durante el lavado, el secado y el planchado. Los tratamientos térmicos en húmedo, con y sin tensión, provocan la ruptura de los enlaces disulfuro. La mayoría de los *procesos de terminación húmeda* de la lana (como p.ej. el *decatizado*, el "*potting*" y el "*setting*") producen la ruptura de los enlaces disulfuro entre las cadenas moleculares de queratina y su formación en diferentes sitios (ver Capítulo 3).



El comportamiento de la lana frente a agentes *reductores* y *oxidantes*, a los *álcalis* y *ácidos*, a los *aniones sulfoxigenados* o las reacciones de *acilación*, *esterificación*, *alquilación* y *arilación* de la *queratina* abren interesantes perspectivas de investigación y desarrollo. Un

tratamiento más extenso de estos temas puede encontrarse en el *Capítulo 3* y en el libro "*Wool Science*", *CSIRO, 1990*

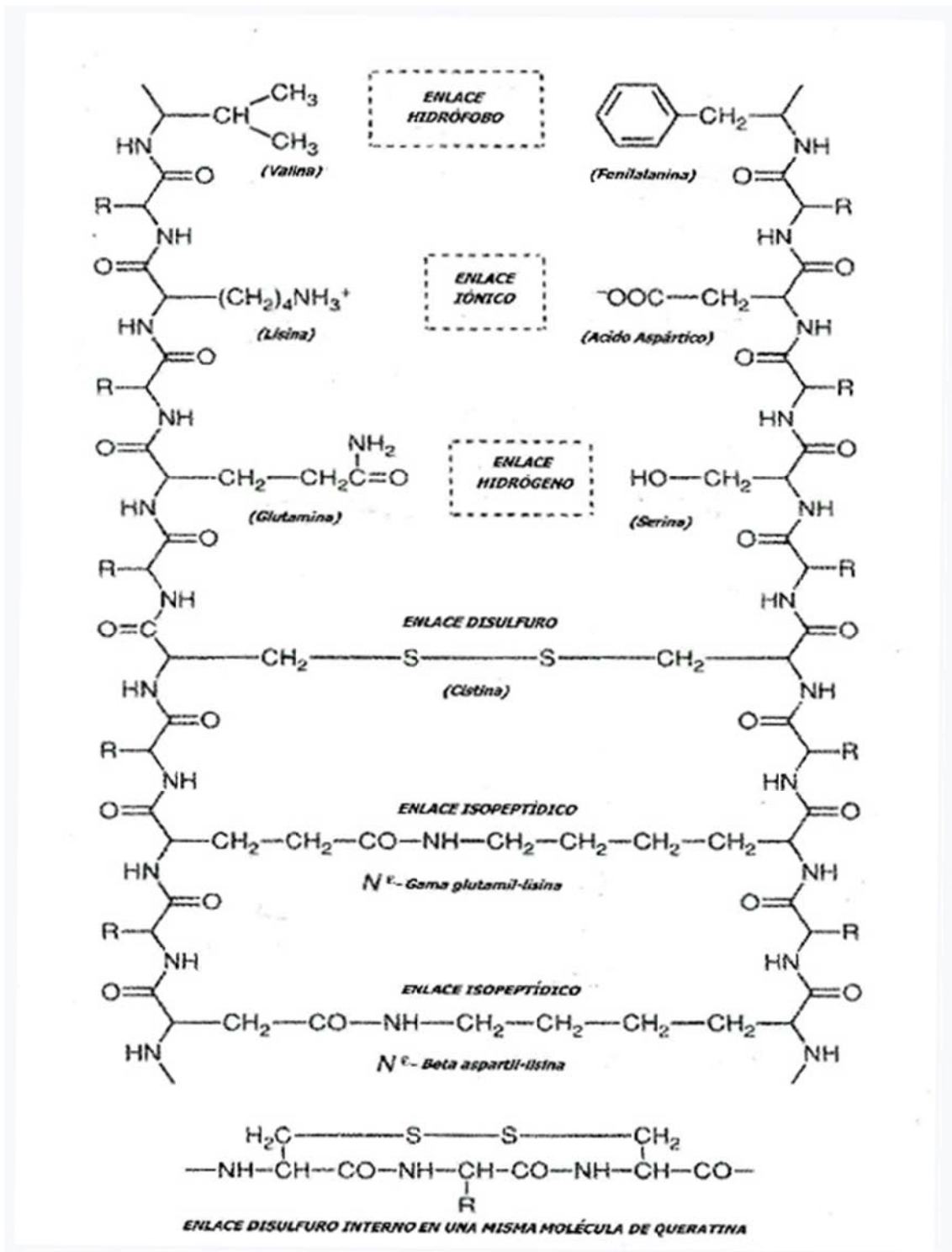


Figura 2.116 (Reproducida del libro "*Wool Dyeing*", ed. por D.M. Lewis, con autorización de la "*Society of Dyers and Colourists*")

POR SU MUY COMPLEJA ESTRUCTURA LA LANA ES UNA FIBRA NATURAL CON PROPIEDADES ÚNICAS

- * Es permeable al vapor de agua pero es difícil de mojar. Luego de vencida la barrera hidrófoba de la cutícula, absorbe gran cantidad de agua liberando gran cantidad de calor. Por tanto en clima frío y húmedo, las prendas de lana ejercen una acción termostaticadora. Los tapices y alfombras de lana regulan la humedad ambiente.
- * Posee gran recuperación elástica y voluminosidad. Las telas y prendas se recuperan fácilmente del arrugado.
- * Es un gran aislante térmico y sónico (ver figura 117).
- * Es resistente a la combustión y da mayor seguridad contra el fuego.
- * Debido a su alta higroscopicidad es resistente a la formación de electricidad estática (ver figura 2.118).
- * Con lana se pueden crear prendas tanto livianas y voluminosas, como pesadas, afieltradas y espesas.
- * Tratadas adecuadamente con humedad y calor las telas de lana adquieren plasticidad y se pueden fijar formas y plisados.
- * Se puede teñir en gran variedad de colores firmes.
- * Es versátil: se puede mezclar con casi todas las otras fibras y tratarla con una gran variedad de productos químicos para obtener efectos especiales.

Tabla 2.38

COMPARACIÓN CON OTRAS FIBRAS				
1 excelente, 2 muy bueno, 3 bueno, 4 regular, 5 mala				
	LANA	POLIESTER	NYLON	ACRÍLICA
APARIENCIA				
Caída	1	3	3	2
Mano	1-2	3	3	2
Color	1-2	3	2	1
Recuperación del arrugado	2	1-2	2	3
CONFORT				
Absorción de humedad	1	5	4	5
Elasticidad	1-2	2	2	3
Permeabilidad	1-2	4	4	4
Aislamiento térmico	1	4	4	4
PERFORMANCE				
Repelencia al agua líquida	1-2	2	2	3
Resistencia a la abrasión	1	1	1-2	2-3
Lavado y planchado	1	1	1	2
Lavado en seco	1	3	2	4
Estabilidad a la radiación UV	2	1	3	1
SEGURIDAD				
Resistencia al fuego	1-2	3	3	5
Resistencia a la electricidad estática	1	5	4	5
Resistencia a los ácidos.	1-2	1	4	1

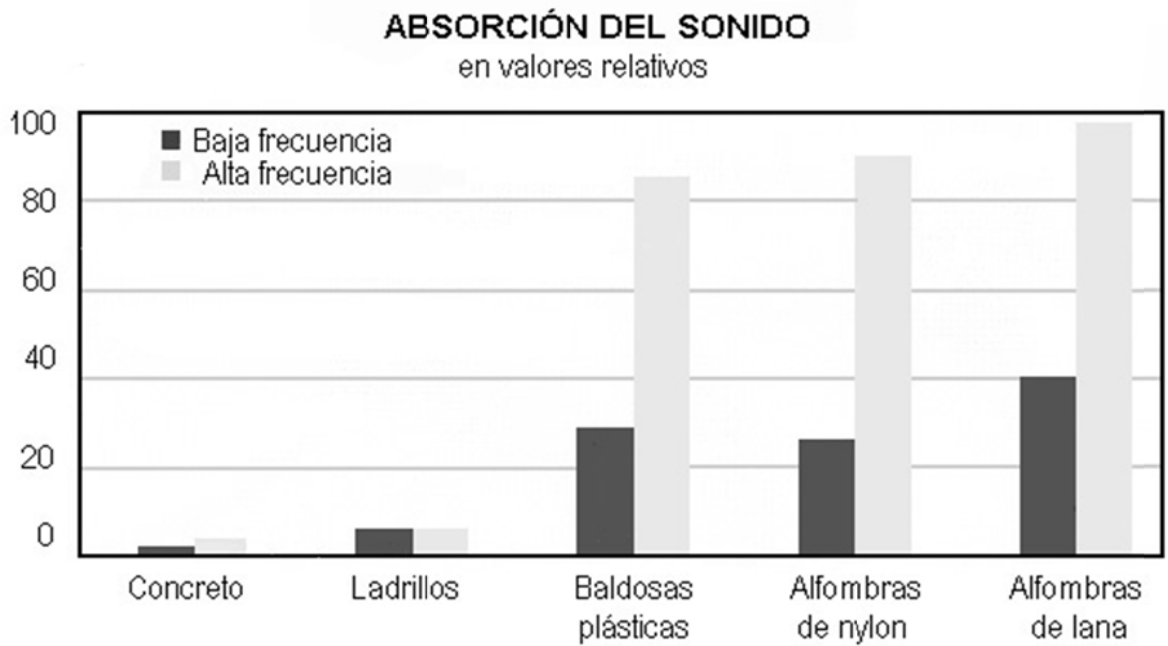


Figura 2.117
(de IWTO, International Wool Textile Organization).

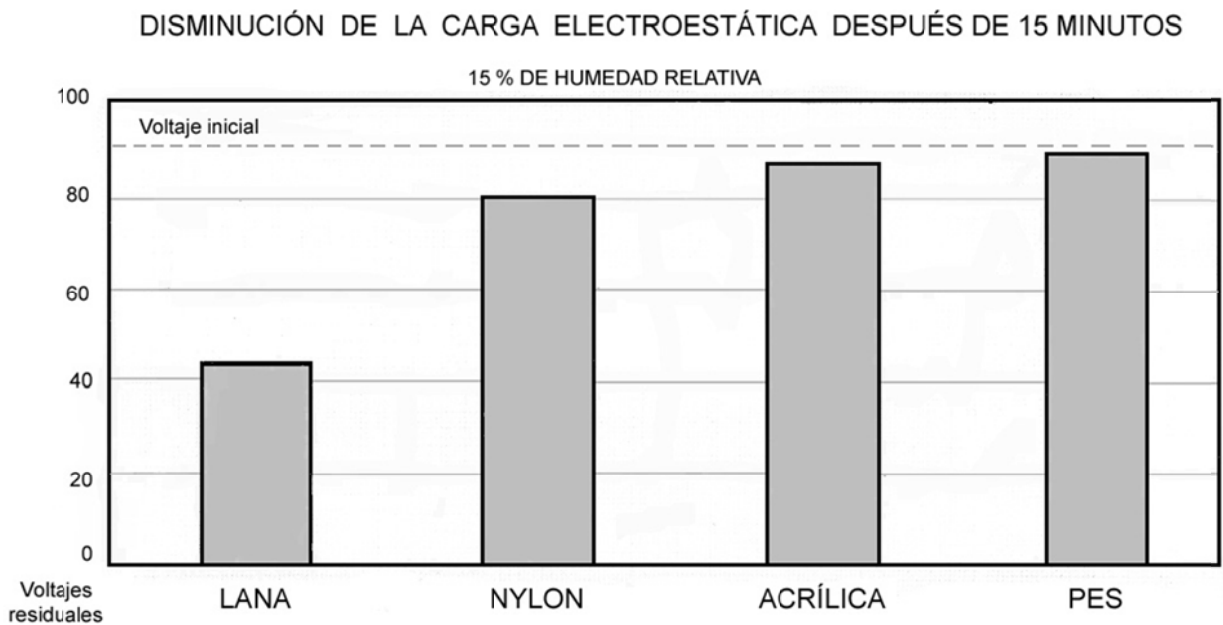


Figura 2.118
(de IWTO, International Wool Textile Organization).



Figura 2.119
APRECIANDO EL COLOR, EL RIZO Y EL LARGO
DE FIBRA EN EL VELLON DE UN OVINO



Figura 2.120

WOOL MARK

Tabla 2.39 - CALIDADES DE LANA
"International Wool Textile Organization (IWTO)"

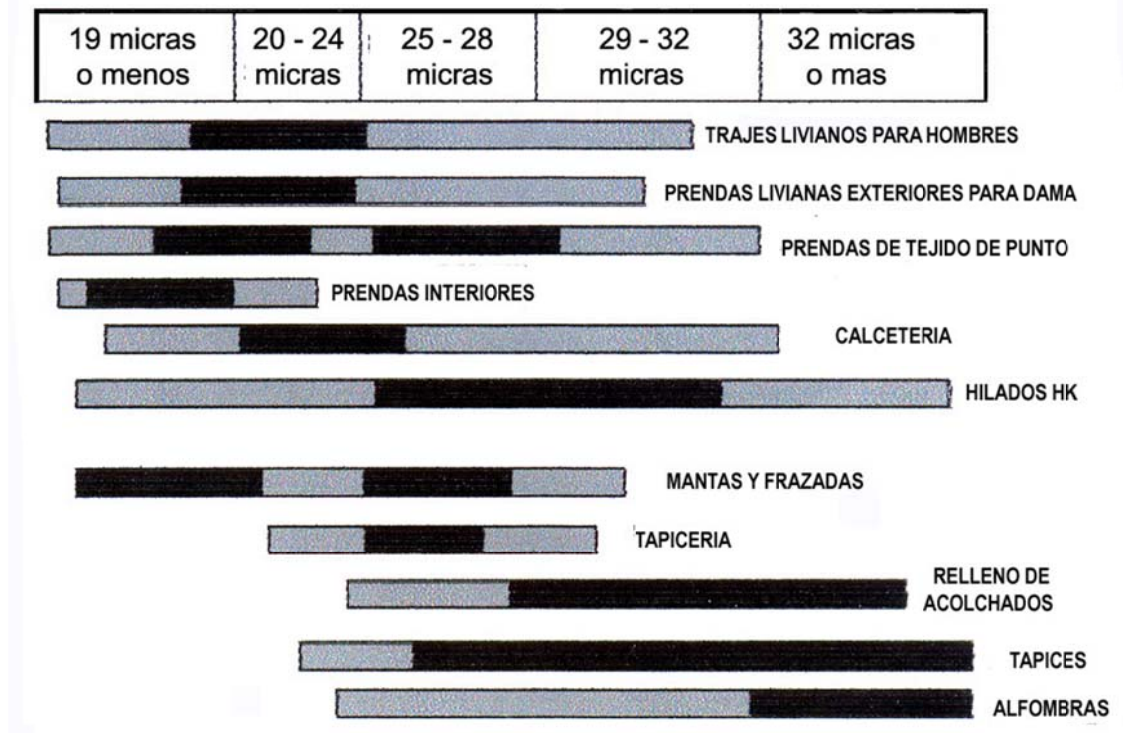
<i>Calidad</i>	<i>Díámetro aparente de fibra *</i>	<i>Calidad</i>	<i>Díámetro aparente de fibra *</i>
<i>SUPER 80's</i>	<i>19.5 m</i>	<i>SUPER 170's</i>	<i>15.0 m</i>
<i>SUPER 90's</i>	<i>19.0 m</i>	<i>SUPER 180's</i>	<i>14.5 m</i>
<i>SUPER 100's</i>	<i>18.5 m</i>	<i>SUPER 190's</i>	<i>14.0 m</i>
<i>SUPER 110's</i>	<i>18.0 m</i>	<i>SUPER 200's</i>	<i>13.5 m</i>
<i>SUPER 120's</i>	<i>17.5 m</i>	<i>SUPER 210's</i>	<i>13.0 m</i>
<i>SUPER 130's</i>	<i>17.0 m</i>	<i>SUPER 220's</i>	<i>12.5 m</i>
<i>SUPER 140's</i>	<i>16.5 m</i>	<i>SUPER 230's</i>	<i>12.0 m</i>
<i>SUPER 150's</i>	<i>16.0 m</i>	<i>SUPER 240's</i>	<i>11.5 m</i>
<i>SUPER 160's</i>	<i>15.5 m</i>	<i>SUPER 250's</i>	<i>11.0 m</i>

* Con una tolerancia de ± 0.25 micrones.

Los métodos de ensayo para determinar el diámetro medio de fibra son:
IWTO -8 (PROJECTION MICROSCOPE) o IWTO - 12 (LASERSCAN)

ARTÍCULOS DE LANA SEGÚN LA FINURA DE FIBRA UTILIZADA

Figura 2.121



BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Wool Shrinkage and its Prevention", R.W. Moncrieff. The London National Trade Press Ltd., 1957
- 2- "Wool Scouring", G.F.Wood, Textile Progress, Vol 12, N°1, 1982
- 3- "Wool Finishing: Machinery Development and Processing Trends", M.A.White, Textile Progr., Vol. 13, N° 2, 1983
- 4- "Handbook of Textile Fibres", J.Gordon Cook, Marrow Technical Library, Durham, England, 1984
- 5- "Wool Scouring and Allied Technology", R.G.Stewart, WRONZ, 1985
- 6- "Wool Science", CSIRO, 1990
- 7- "Wool Dyeing", Edited by D.M.Lewis. Society of Dyers and Colourists. 1992
- 8- "Introduzione al Finissagio Laniero", Mario Bona. Textilia, Biela, 1993
- 9- "Wool: Science and Technology", Ed. W.Simpson, G.Crawshaw, Woodhead Publ. Ltd., England, 2001
- 10- "The International Wool Trade", Julian Roche,, Woodhead Publ. Ltd., England, 1995

12.0.0- SEDA

La cría de gusanos de seda o *sericultura* se originó en China hace unos 4000 ó 5000 años y la técnica fue mantenida en secreto durante siglos. Los artículos de seda seguramente fueron conocidos por Alejandro Magno durante su campaña en Persia (331-323 AC), pero recién del 700 DC en adelante, lentamente, se difundieron y apreciaron en Europa, a donde llegaban desde China a través de la legendaria "*Ruta de la Seda*". Sin embargo, la *sericultura* se comenzó a practicar en Europa hace solo unos 600 años (*ver más abajo*).

La mayor parte de la seda es producida por el gusano *Bombyx Mori* que es la variedad que se ha "domesticado" desde hace milenios. Si bien actualmente se han desarrollado nutrientes alternativos, el gusano se sigue alimentando solo con *hojas de morera (morus alba)*, especialmente en las últimas etapas de crecimiento que es cuando come con más voracidad. Al cabo de 25 a 30 días de vida, en que crece de 2 a 70 mm de largo y cambia de piel cuatro veces, el gusano se envuelve en un capullo que teje con un *filamento doble*, producido por combinación de *dos filamentos* de *fibroína*, de sección triangular, unidos por una materia adhesiva, la *sericina*, excretados cada uno por correspondientes glándulas colocadas a cada lado del labio inferior de su boca. La *fibroína* es una proteína que contiene glicina y alanina como aminoácidos principales. Es insoluble en agua pero, en forma similar a las *queratinas* de la lana, se disuelve en soluciones fuertemente alcalinas en caliente y en ácidos concentrados. La *fibroína* es una *proteína β* con enlaces hidrógeno intermoleculares (*no intra como en las estructuras α*). Esta estructura hace que *la seda no sea muy elástica y extensible* pero en cambio, le confiere gran resistencia a la tracción por la cantidad de enlaces hidrógeno intermoleculares que posee. La *sericina*, que actúa como adherente, es también una proteína, pero de menor peso molecular, soluble en agua caliente. La seda se tiñe con la misma extensa gama de colorantes que se utilizan para la lana obteniéndose colores de gran brillo.

El capullo es elaborado con movimientos de la cabeza del gusano y el *filamento doble* o *bifilamento* que lo forma, puede tener aproximadamente *1 a 5 deniers de densidad lineal*, pero en general alrededor de 2 deniers. La *longitud* del filamento dependerá de la *clase, linaje o familia* de *bombix mori*, ya que este puede pertenecer a dos: la *bivoltine* y la *multivoltine*. Los *bivoltine* son capaces de producir dos generaciones por año mientras que los *multivoltine* pueden producir varias. Los *bivoltine* producen capullos con filamentos que alcanzan hasta 1600 metros de longitud. Con estos filamentos se pueden obtener hilados de muy buena calidad, regulares, de buen lustre y muy resistentes. Estos gusanos son, sin embargo, muy vulnerables a enfermedades, especialmente la *pebrina (estudiada por Louis Pasteur en el siglo XIX)* y por tanto deben criarse bajo estrictas condiciones de higiene y en climas templados. Los *multivoltine*, en cambio, son muy resistentes a las enfermedades, aceptan condiciones de crianza menos exigentes aún en climas húmedos y tropicales, pero producen filamentos mucho más cortos, de aproximadamente 400 a 600 metros de largo y de menor calidad. Actualmente se realizan investigaciones de ingeniería genética para producir una variedad de *bombix mori* que reúna las mejores condiciones de ambas familias. Otra especie distinta al *bombix mori*, la variedad *Tusa*, originaria de la India, es criada en forma silvestre y el filamento producido es más grueso, fuerte y durable que el del *bombyx mori*.

Si a la larva se le permite completar su ciclo biológico, se transforma en crisálida y al cabo de unos 10 días emerge, perforando el capullo, transformada en mariposa. Estas mariposas, ciegas y sin aparato digestivo, han perdido la capacidad de volar, luego de milenios de cría selectiva, y pueden ser macho o hembra. Luego de fecundarse, la hembra comienza inmediatamente a poner de 300 a

400 huevos por día, del tamaño de una cabeza de alfiler, y luego muere. En general, los huevos requieren ser sometidos a un periodo de hibernación a bajas temperaturas, para recién luego ser incubados, cuando se dispone de hojas de morera en cantidad suficiente. Al nacer la larva se inicia nuevamente todo el ciclo.

Salvo aquellos capullos, perfectos y sanos, que se reservan para la continuidad del ciclo biológico, los demás se sumergen en agua hirviendo para matar las crisálidas y evitar que las mariposas perforen el capullo y malogren la continuidad del bifilamento. Los capullos, seleccionados por su tamaño y color, son luego **devanados** ("reeling") para formar multifilamentos, **reuniendo de 7 a 10 bifilamentos individuales**, según el **título final** deseado (ver figura 2.125). Con estos multifilamentos se forman luego madejas que son enviadas al **molinado** ("throwing") operación por medio de la que se aplica la cantidad de torsión necesaria, de acuerdo al uso final al que se destinará el hilado. Dado que el título de los bifilamentos y la cantidad que se reúnen es variable, el título final del hilado multifilamento resultante se expresa con un entorno de tolerancia. En el mercado entonces pueden encontrarse hilados de seda designados, p.ej., como 13/15, 16/18, 32/34, 60/80, etc., siendo cada par de valores el entorno del título en deniers que tiene el hilado. Las torsiones insertadas son de 100 a 150 T/m y de 2000 a 3500 T/m según el uso final al que se destina el hilado. Los desperdicios o filamentos cortados que se producen a lo largo del proceso, se utilizan para producir fibra discontinua o "schiape" que se destina a mezclar con otras fibras textiles, cortas o cortadas.

Es interesante tener en cuenta que 1500 huevos pesan aproximadamente 1 gramo. Los gusanos que nacen de esos huevos consumen unos 56 kg de hojas de morera aproximadamente (*cada gusano come un total de aprox. 37g*). Suponiendo un 100% de eficiencia en la crianza, se obtienen entonces 1500 capullos que rinden de 300 a 400 g de filamento de seda (*0,20 – 0,25 g de filamento por capullo*), cantidad suficiente como para confeccionar una camisa.

Antes de teñirlos, los hilados de seda, en general, deben ser "**desgomados**", es decir se debe retirar la **sericina** por tratamiento con agua caliente, con lo que se separan los dos monofilamentos que estaban unidos formando cada bifilamento. La seda sin desgomar dificulta la penetración de los colorantes y da una mano "acartonada" a las telas, por lo que desgomar (*aun que no completamente*) es imprescindible. El desgomado es una operación delicada, que si no se hace bien produce defectos de igualación que se detectan recién después del teñido. En general las telas de seda que deben ser desgomadas, se mantiene 6 horas sumergidas en una solución de jabón de Marsella de 3 a 5 g/l, a 50°C y lavando luego durante 2 a 6 horas en una solución del mismo jabón de 8 a 10 g/l, a 90-95°C. Luego se enjuaga cuidadosamente y se blanquea con solución de peróxido de hidrógeno (*35 volúmenes*) de 15-20 ml/l.

Luego del **desgomado** la seda sufre una importante reducción en su peso final. Se puede compensar esta pérdida y aún ganar más peso, sin que disminuya su brillo y elasticidad, "**cargando**" o "reforzando" la seda ("**weighting**"). Tradicionalmente esto se hacía mordentándola con sales de estaño y luego tratándola con extractos vegetales ricos en ácido tánico. La seda así "cargada", además de adquirir propiedades ignífugas y antiestáticas, es más fácil de trabajar en tejeduría y las telas presentan un tacto más "lleno" y una mejor "caída". Actualmente, por razones ecológicas, se prefiere no usar las sales de estaño y usar, en cambio, productos (*como el metilmetacrilato*) que se combinan con la fibroína dando resultados similares.

Las extraordinarias propiedades de la seda están vinculadas al hecho de ser un doble *micro* filamento, de sección triangular, lo que le da un brillo especial por reflejar la luz en tres caras y refractarla como un prisma. El capullo tejido con este microfilamento debe cumplir roles también extraordinarios: **1)** debe ser lo suficiente elástico como para permitir el movimiento de la crisálida, **2)** debe ser fuerte para resistir el ataque de pájaros, insectos y roedores y, **3)** debe mantener regulada la temperatura y la humedad del interior del capullo. No es extraño entonces que la seda sea un *filamento resistente, suave* y que las *prendas* de seda sean *muy confortables*, tanto en climas fríos como cálidos. Las características destacables de las prendas de seda son su *brillo*, su *resistencia al arrugado*, su posibilidad de ser teñida y estampada con *colores brillantes* y poseer una "*mano*" y "*caída*" muy especial.

La seda, sin embargo, cuando se humedece es muy delicada: se hincha y es muy sensible a la abrasión, al calor y a la radiación ultravioleta. Conviene, entonces, lavar las prendas solas, a mano, con abundante agua fría o tibia y con detergentes neutros (p. ej un "*shampoo*" neutro), evitando siempre el contacto con prendas rugosas y con las piezas metálicas de una máquina de lavar. Si no se toman estas precauciones las prendas pueden sufrir un desgaste ("*chafing*") que se manifiesta como zonas blanquecinas y se estropea definitivamente. Las prendas deben secarse a bajas temperaturas y a la sombra.

La seda es cara¹ debido a que la sericultura es relativamente de baja rentabilidad. El cultivo de los árboles de morera requiere inversiones importantes y la cría de los gusanos exige un manejo sanitario extremadamente cuidadoso. La seda representa menos del 0,2 % del total de la producción mundial de fibras y ese valor no puede, por tratarse de un proceso biológico, incrementarse fácilmente. Por otra parte las prendas de seda requieren un trato muy cuidadoso y, en ese aspecto, no pueden competir con los hilados de multifilamentos hechos por el hombre. Pero la seda, si bien no es de consumo masivo ha sido siempre muy apreciada. Los grandes diseñadores textiles generalmente incluyen prendas de seda en sus colecciones pues consideran que esa es la forma de elevar y destacar la calidad del conjunto. La mayor parte de los artículos confeccionados con seda son corbatas de hombre y pañuelos, vestidos y lencería de damas ²

De todas maneras, la sericultura es considerada una actividad que puede mejorar las condiciones económicas de las familias campesinas. En países de sericultura desarrollada se paga alrededor de 2 U\$S el kg de capullos. Este precio es, en general, mejor que el de algunos productos de granja. Sin embargo, los expertos estiman que para desarrollar la sericultura en un país o región donde no exista esa tradición, se puede requerir no menos de 10 años e importantes inversiones, antes de obtenerse resultados satisfactorios.

Los principales países productores y consumidores de hilado de seda están agrupados en la "*International Silk Association (ISA)*" fundada en 1949. Existen por lo menos 50 países productores de seda y los mayores están en Asia, con excepción de Brasil. China es el líder seguido por la India, Japón y Corea. Actualmente hay grandes interrogantes sobre el futuro de la sericultura, pues la cantidad de personas que se dedican a ella, va disminuyendo rápidamente³.

¹ En 1989 el hilado de seda costaba aproximadamente 50 U\$S/kg y en 1999 unos 20 U\$S

² Hace unos años atrás se pusieron de moda prendas de seda "lavadas a la piedra" ("*sand-washed silk*"), de baja calidad y baratas, dirigidas al mercado joven, que dañaron algo la imagen tradicional de la seda.

³ China producía 70.000 toneladas en 1989 y solo 38000 toneladas en 1998



Figura 2.119 y 2.120 – Gusanos de seda alimentándose de morera



Figura 2.121 – Gusano tejiendo su capullo

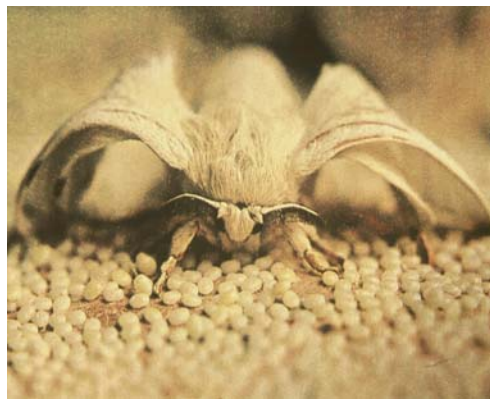


Figura 2.122 – Mariposa poniendo huevos



Figura 2.123 – Huevos



Figura 2.124 – Capullos y telas de seda

TABLA 2.39
CICLO DE VIDA DEL BOMBIX MORI

HUEVO	Aproximadamente del tamaño de una cabeza de alfiler
	Período de Incubación: 12 a 14 días a 25°C
	Nace la larva y comienza a comer vorazmente hojas de morera
GUSANO	Etapas de crecimiento :
	1) 3 a 4 días, cambio de piel
	2) 2 a 3 días, cambio de piel
	3) 3 a 4 días, cambio de piel
	4) 5 a 6 días, cambio de piel
	5) 7 a 8 días. Comienza a hilar y a formar el capullo
	Crece 100.000 veces su tamaño original en 20-25 días
CRISÁLIDA	Se envuelve completamente en su capullo en 3-4 días
	Dentro del capullo se transforma en crisálida en 3-4 días y gradualmente en mariposa en aprox. 10 días
	Rompe el capullo y emerge como mariposa
MARIPOSA	Fecundación y comienzo de postura de huevos
	Cada mariposa pone de 350 a 500 huevos y luego muere.
	Se debe investigar pebrina en las mariposas muertas

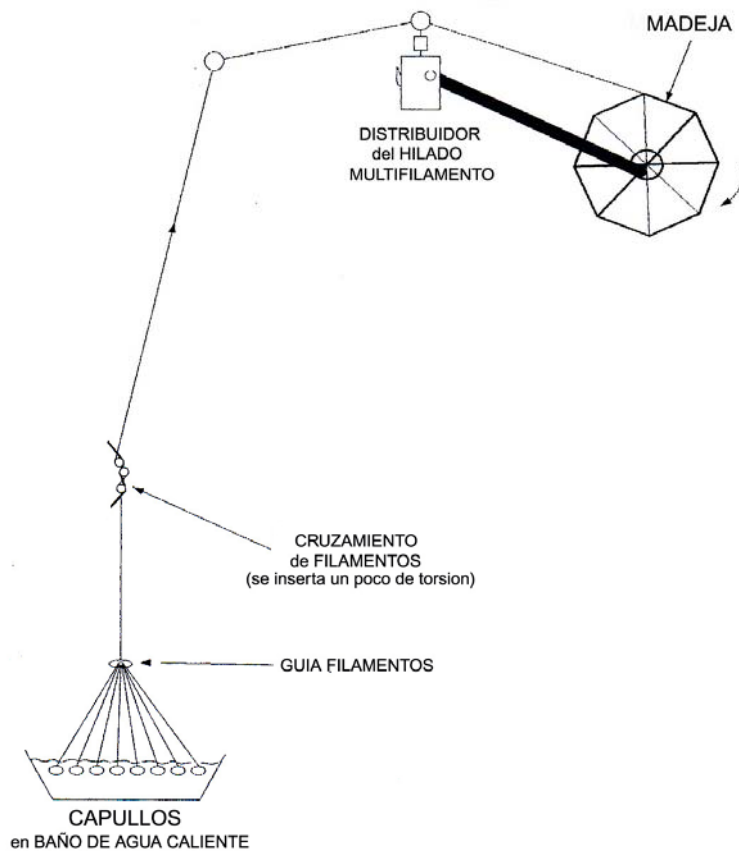


Fig. 2.125- Devanado de la Seda

12.1.0- BREVE HISTORIA DE LA SEDA

Según Confucio la seda fue descubierta por la princesa Xi Lin Shi, en el año 2640 AC en circunstancias en que, mientras tomaba té en los jardines de palacio, cayó un capullo en su taza. A partir de entonces la domesticación del *bombix mori* y la producción de seda fue un secreto muy bien guardado por los chinos durante siglos pero, aproximadamente entre el año 1000 y el 1200 AC, la sericultura pasó primero a la India y luego a Corea y a Japón.

En el siglo I AC, siete legiones romanas bajo el mando de Marcus Licinius Crassus fueron derrotados por los Partos en la batalla de Corrae (*actualmente Harran en Turquía*). La leyenda dice que los romanos se aterrorizaron al ver el extraordinario aspecto de los estandartes de seda del ejército enemigo brillando bajo el sol, ya que nunca habían visto nada igualo. Cincuenta años más tarde, la seda ya la usaban las mujeres patricias de Roma. Desde el año 220 A.C. ya se transportaban seda y otros productos a Europa, a través de Asia, por las rutas que seguían las caravanas que, uniendo regiones y culturas, estuvieron activas hasta que se produce el ocaso del imperio Mogol y el desarrollo de las rutas marítimas, a finales del siglo XV. El impacto cultural y económico sobre todas las regiones que atravesaban las "Rutas de la Seda", junto a la atmósfera de romanticismo y aventura del que siempre estuvieron rodeadas, hacen que el estudio de esta etapa histórica sea apasionante (*quién quiera profundizar en este tema puede consultar el sitio <http://www.silk-road.com/>*).

Recién en el 552 AC, el emperador Justiniano envió a China a dos monjes a tratar de descubrir los secretos de la sericultura. Los monjes regresaron con una cierta cantidad de huevos de *bombix mori* ocultos en sus bastones huecos y se supone que es a partir de ese hecho, que comienza un lento desarrollo de la sericultura en Europa. Esto de ningún modo alteró el comercio de telas y prendas de seda. Los Árabes que, en menos de 100 años, habían extendido su influencia hasta las fronteras con la India y China asimilan rápidamente la artesanía que encuentran en Persia, Siria y Alejandría, crean en Damasco un gran centro sedero. De allí, alrededor del siglo VIII D.C. en adelante, difunden la sericultura y la tejeduría de la seda por el norte de África, en Sicilia y en España. En España la sericultura prospera en Murcia y en Valencia, mientras que la industria sedera en Almería, Granada y Córdoba. En el 1060 Roger II conquista Sicilia y le da un gran impulso a la producción sedera local. Se estima que a partir de este hecho comienza la verdadera difusión de la industria sedera en Europa. La creatividad del diseño de las telas de seda del mundo Árabe y de Oriente influye poderosamente en los artesanos europeos sobre todo después de las Cruzadas (*s. XII y XIII*) y de los viajes de Marco Polo (*s. XIII*). Como resultado de todas estas influencias, ciudades como Lucca y Florencia en Italia, comienzan a destacarse por la importancia de su industria sedera y la calidad de los artículos producidos.

En el siglo XV, durante el reinado de Carlos VII, comienza la importante industria sedera francesa, primero en Avignon y luego en Lyon con el aporte de comerciantes y banqueros florentinos. En un principio se importaba hilado, para luego tejer y confeccionar. Recién en el 1466, bajo el reinado de Louis XI se inicia la sericultura. Sin embargo, en 1685, la revocación del Edicto de Nantes, que por mucho tiempo había protegido a los hugonotes de las persecuciones religiosas y políticas, provocó la migración de muchos de ellos a Inglaterra y Holanda. Entre ellos emigraron tejedores que iniciaron el desarrollo de los centros sederos ingleses de Spitafields y Macclesfield.

De todas maneras, en el siglo XIX, Lyon era el centro sedero más importante de Europa. La invención en 1810, por Joseph-Marie Jacquard, de un mecanismo que permitía tejer diseños

complejos (*ver Cap.6*), le dio un nuevo y gran impulso a la industria textil de Lyon. Sin embargo a mediados de ese siglo la sericultura fue muy afectada por una enfermedad infecciosa, la *pebrina*. Si bien esta enfermedad fue estudiada y combatida por Louis Pasteur, marcó el inicio de la declinación de la sericultura francesa. Actualmente, también se aprecia una declinación de la sericultura en todo el mundo, si bien debida a otras diversas causas (*ver más arriba*).

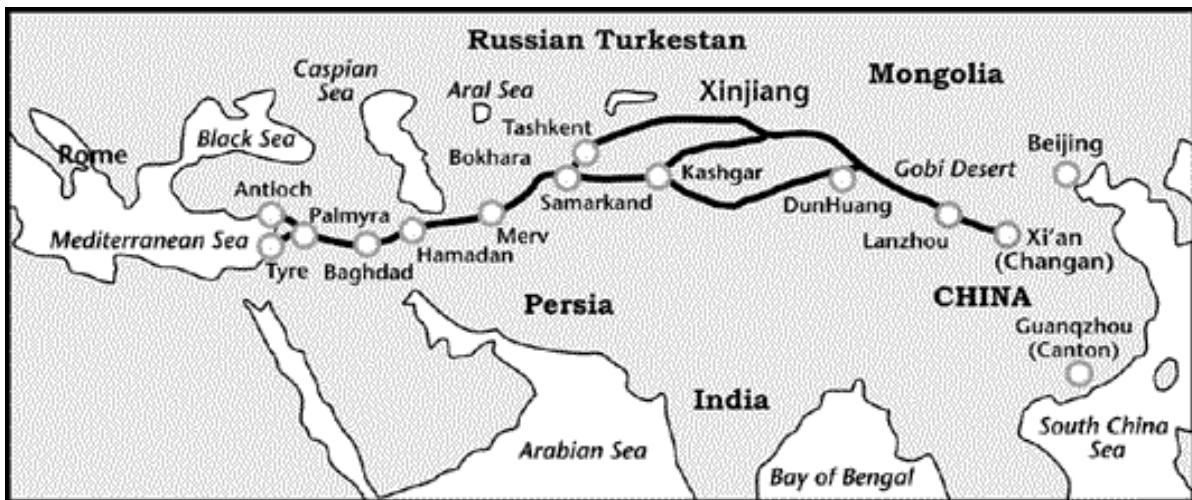


Figura 2.126
Las Rutas de la Seda

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Silk. The Queen of Textiles", National Geographic, January, 1984
- 2- "Handbook of Textile Fibres", J.Gordon Cook, Marrow Technical Library, Durham, England, 1984.
- 3- "Only Silk is Silk", The Silk Association of Great Britain, 1986
- 4- "Silk. How and Where it is Produced", H.T.Gaddumm & Co., Macclesfield, Cheshire, 1989
- 5- "Silk, Mohair, Cashmere and Related Fibres", Ed. R.Franck, , Woodhead Publ. Ltd., England, 2001
<sales@woodhead-publishing.com>
- 6- "Principles of Sericulture", Hisao Aruga, <www. amazon.com>
- 7- "Sericulture and Silk Production: A Handbook", Prebha Shekar, M. Hardingham, Intermediate Technology
- 8- "Silkworm Rearing", Soo-Ho-Lim, FAO Agricultural Services Bulletin, N°80, <www. amazon.com>

MUSEOS

- 1- "The Working Silk Museum", New Mills, South St., Braintree, CM7 3GB, U.K.



13.0.0- OTRAS FIBRAS DE ORIGEN ANIMAL

Los lanares de hace unos 8000 años tenían un **vellón** o **pelaje exterior** de color marrón, con pelos largos y gruesos o “pelos canizos”, que presentaban un canal central, y un **pelaje interior**, con pelos más delgados y más cortos, sin canal central. El pelaje exterior, más largo, actuaba de barrera contra la penetración del sol, la lluvia y el polvo y, el pelaje interior, como aislante térmico. Ambos pelajes se mudaban anualmente, en primavera.

La lana de **oveja**, tal como la conocemos hoy día, es el resultado de un largo proceso de **cría selectiva** con la que se buscó mejorar las propiedades del vellón y atender las demandas de la industria textil. A lo largo de siglos se favoreció la reproducción de animales con predominio del vellón interior más fino, con pelos sin canal central. Se logró también que el animal no mudara su pelaje en primavera, que creciera continuamente y que entonces debiera ser esquilado anualmente. Aún así, en los vellones actuales aparecen algunos pelos más gruesos y con canal central, llamados “kemps”, que en general son indeseables y bajan el precio de venta del vellón.

13.1.0- CABRAS

Las **cabras** silvestres presentan vellones con características antiguas o naturales silvestres, es decir, un pelaje exterior y otro interior, que se mudan en primavera. El **vellón interior** o “**douvet**” es muy apreciado por su **finura** y **suavidad**. En primavera, en el periodo de muda del animal, ambos vellones pueden ser retirados a mano, o con un peine especial, para luego separar mecánicamente las fibras del “**douvet**” de las del vellón exterior (“**dehairing**”). En general, cuanto a mayor altitud viva el animal y más dispersa su alimentación, más finas son las fibras de los vellones. La gran diferencia de estas fibras con la **lana de ovinos** es que son **meduladas** o **huecas**, con un **canal central no continuo**, como ocurre, en general, con casi todos los pelos. La cabra **Cashmere** (*Capra hircus laniger*) al igual que la mayoría de las cabras presenta doble vellón. En cambio las cabras de **Angora** (*Capra hircus aegagrus*), al igual que los **ovinos**, tienen un solo vellón que crece todo el año y que debe esquilarse en primavera.

La cabra **Cashmere** hoy se encuentra en China, Mongolia, Tibet, Pakistán y la provincia hindú de Cachemira, de donde recibe su nombre. La fibra o pelo del “**douvet**” de esta cabra, tiene una finura de 12,5 a 19 μm y un largo promedio de 35-50 mm. Al ser una fibra fina y hueca, con ella se pueden elaborar prendas de gran suavidad y de gran aislamiento térmico, adecuadas para climas fríos (*también para climas cálidos, si la prenda es liviana y, si además de caluroso, el clima es seco*). Los colores naturales del vellón son blanco, gris y marrón. Es una fibra cara o de “lujo” (120-130 U\$S/kg) y con ella se pueden elaborar prendas livianas y muy abrigadas como chaquetas, sweaters, bufandas, guantes, gorros, etc. Por su baja inflamabilidad se usa en tapicería de aviones y yates de lujo. A veces se le mezcla con seda y algodón de alta calidad (*de fibra larga como el “Sea Island”*). A la fibra de origen hindú se le llama a veces “**Pashmina**” y con ella se hacen chales de gran calidad y renombre. Las fibras del **vellón externo**, más gruesas, no se consideran de lujo y se usan solo para elaborar mantas, tiendas de campaña, cordeles, etc.

El **Mohair** es una de las fibras más antiguas que se conocen y se obtiene de la cabra de **Angora**. Se considera que esta cabra es un variedad cercana a la cabra de **Cashmere** y que tiene, como esta, un origen asiático, pero que luego emigró a Asia Menor y tomó su nombre de la provincia turca de Angora. La cabra de Angora es única entre todas las variedades de cabras pues posee un único vellón que crece todo el año, sin muda de Primavera. El diámetro de las fibras de los folículos primarios y secundarios son similares. La cabra **Angora** es el resultado, al igual que la oveja, de una cría selectiva. De la cruce de cabras de **Angora** con otros tipos de cabras silvestres se obtiene un animal que produce vellones de finura y largo variado (18-23 μm

y 30-90 mm) que se conocen con el nombre de **Cashgora**. Este tipo de fibra tuvo un auge alrededor de 1990 pero actualmente su demanda ha disminuido

Las fibras de **Mohair** son muy largas y lustrosas. No poseen rizo pero pueden ser onduladas. Cuando se esquila una vez por año la **longitud** de la fibra es de aproximadamente **300 mm** y cuando se hacen dos esquilas por año, es de aproximadamente **150 mm**. Esto permite que al mezclarlas, p.ej. con lana, se pueda bajar el "**límite de hilabilidad**" es decir, la cantidad mínima de fibras por sección necesarias para obtener un hilado. Su **finura** va de los **24 µm** en animales jóvenes a **40 µm** en animales adultos. Se caracterizan por su excelente **suavidad, lustre, durabilidad, elasticidad y resistencia a la tracción y a la abrasión**. Son, en general de color blanco pero ocasionalmente pueden ser negras, marrones, e incluso rojizas o rosadas debido a la presencia de melanina en el cortex. Se pueden teñir con los mismos colorantes utilizados para teñir lana.

Los tejidos de **Mohair**, al igual que los de lana, poseen **buena aislación térmica**, tienen un **alto "regain"**, **baja inflamabilidad y baja ensuciabilidad**. Por otra parte, al ser las escamas de la fibra delgadas y poco pronunciadas, los tejidos **se afieltran mucho menos** y forman menos "pilling" que los de lana. Si bien es una fibra cuya propia superficie es suave, los artículos hechos con ella *pueden no ser muy suaves*, debido a la finura media a gruesa de las fibras. De todas maneras la "**mano**" de los artículos es muy agradable, especialmente si la fibra es obtenida de animales jóvenes. Con mohair pueden confeccionarse prendas muy livianas que serán **muy durables** y muy cálidas en invierno y frescas en veranos secos. Con mezclas de lanas finas y mohair de baja finura se pueden confeccionar casimires tropicales para trajes de hombres muy livianos y confortables, prendas de tejido de punto como "sweaters" y bufandas de aspecto lustroso y voluminoso. Se utiliza también para tapicería y para hacer pelo de muñecas y pelucas. La observación en microscopio electrónico permite identificarla por el tamaño y la forma de sus escamas. Un método seguro para diferenciarla de la lana y de otras fibras animales, es determinar la secuencia de su DNA.

Si bien, como se dijo, el **Mohair** es originario de Turquía, actualmente los mayores productores son USA y Sudáfrica. Su producción representa aproximadamente solo el 0,02 % de la producción mundial total de fibras. Por ser una fibra muy sensible a los cambios de moda, su precio es muy variable. En general, el **Mohair** se hila con maquinaria similar a la utilizada para hilar lana. Sin embargo hilarla es mucho más difícil por la **suavidad y falta de cohesión** de la fibra. Muchos aspectos de la hilatura del Mohair son en general secretos industriales muy bien guardados.

13.2.0- CAMÉLIDOS

Los pelos de los **camellos** del viejo mundo y de los **camélidos** sudamericanos - como la **vicuña**, la **alpaca**, la **llama** y el **guanaco** - son también fibras parcialmente huecas con las que se elaboran artículos de gran suavidad y de gran aislamiento térmico. Las prendas se pueden usar tanto en climas de extremo frío o calor. Los precios de estas fibras o pelos son, en general, también muy altos.

El **camello bactriano** (el de *doble joroba*), que se encuentra principalmente en China, Mongolia, Irán y Afganistán; posee dos capas de pelambre: una externa de pelos gruesos y otra interna de pelos finos y suaves, por lo que esta es más apreciada para aplicaciones textiles. La finura del pelambre interior es de 16-20 µm y el largo es de 36-40 mm. En la pelambre externa la finura de la fibra va de 30 a 120 µm y su largo puede llegar a 37 cm. En primavera, período en que cambian pelambre, los animales se pueden esquilar manualmente obteniéndose, de cada uno, entre 8 y 10 kg de fibras de un color marrón canela característico. El pelo de la otra especie de

camello, el **dromedario** (*de una sola joroba*), es menos utilizado. La producción mundial de pelo de camello oscila entre 3000 y 4500 toneladas y su precio puede llegar a 24 U\$S/kg. Las fibras finas del pelambre interior se utilizan principalmente para tejidos de punto, tapados y abrigos para hombres. Las fibras gruesas de la capa externa se utilizan para cordeles, tiendas de campaña, alfombras y abrigos muy pesados.

La **vicuña** (*Vicugna vicugna*), el más escaso de los camélidos sudamericanos, es un pequeño animal de 1,25 a 1,50 m de altura que pesa entre 35 y 50 kg. Posee un largo cuello y su cuerpo está cubierto de un suave y denso pelaje - de color canela en el lomo y blanco en el pecho - compuesto de fibras muy finas y huecas que le protege de las muy bajas temperaturas, que son frecuentes en su hábitat natural (*cordillera de los Andes, en alturas de unos 3.800 metros sobre el nivel del mar*). El pelo de **vicuña** es quizás el más fino de todos los conocidos, con diámetros aparentes de **10 a 14 micrones** y largos de **20 a 40 milímetros**. Debido al gran aislamiento térmico que se logra - por la gran finura y por el canal central del pelo - las prendas que lo contienen son muy abrigadas. Generalmente la vicuña vive unos 20 años y produce un promedio de 200 gramos de fibra por año. El animal no puede ser domesticado y muchas veces se le mata para esquilarlo. Por todos estos motivos, y por la **suavidad** y **lustre** de las fibras, el precio de estas es muy alto (*alrededor de 360 U\$S/kg*) y se utilizan para mezclar con lanas finas. Durante el imperio de los Incas su caza estaba prohibida y el uso de prendas hechas con su pelo era un símbolo de nobleza y estaba solo permitido a las jerarquías más altas. Actualmente, en Perú, la vicuña está protegida para evitar su extinción, pues su población bajó de 2 millones de animales, que había en tiempo de los Incas, a unos 165.000 que hay actualmente.

La **alpaca** (*lama pacos*) en cambio, puede ser criada y esquilada sin mayores dificultades y no tiene un vellón interno y otro externo. Es el camélido sudamericano más numeroso: hay unos 3.5 millones en el Perú, aproximadamente el 75% del total mundial. Es un animal entre 1.20 y 1.50 m de altura, que pesa entre 45 y 79 kg. Hay dos variedades: la *Huacaya* y la *Suri*. Esta última es de pelo largo, sedoso y excepcionalmente lustroso. La variedad *Huacaya* es la más numerosa, representando el 93% del total y su pelo es relativamente más corto, más denso, más rizado y voluminoso que el de la variedad *Suri*. Los pelos de las dos variedades son de excepcional brillo y textura, no se afieltran ni forman "pilling". La finura varía: **19 µm** (*Royal Alpaca*), **22.5 µm** (*Baby Alpaca*), **25.5 µm** (*Alpaca Super Fina*), **32 µm** (*Alpaca Gruesa*). El largo de las fibras varía según el tipo de animal y la frecuencia de la esquila (*generalmente cada 18 meses*): va de 20 a 55 **cm**. Son fibras de alto peso específico (*aproximadamente el doble que el algodón*) y mezcladas, por ejemplo, con lana permiten bajar el "límite de hilabilidad" o "cantidad de fibras por sección", con lo que se pueden obtener hilados muy **delgados**, **suaves** y con un agradable **lustre**. Generalmente no se tiñe y se aprovecha la diversidad de colores naturales que presenta, que van del blanco al negro pasando por diversos matices de grises y marrones. Por ser una fibra de baja finura, suave, lustrosa, durable, con poca tendencia a afieltrarse y causar "pilling", las telas, las bufandas, los sweaters, las mantas y frazadas que contienen alpaca son muy apreciados. Es la más importante de todas las fibras provenientes de camélidos y su precio oscila entre los 2 y los 10 U\$S/kg..

La **llama** (*lama glama*), es el camélido sudamericano más grande y habita también los Andes peruanos y bolivianos. Mide de 1.50 m a 2.00 m de altura y pesa normalmente de 100 a 155 kg. Hay unas 900,000 llamas in Perú y el total de la población es de aproximadamente es 2.5 millones. Ha sido y es utilizada como medio de transporte por las culturas andinas y su pelo, debido a que es relativamente más grueso que el de la vicuña y el de la alpaca, no es tan empleado como estos en la industria textil. La Llama tiene vellón externo e interno y cada animal rinde unos 3 kg por año pero no se esquila necesariamente una vez por año. Hay dos

variedades: la *Chaku* de pelo largo y abundante y la *Chara* de pelo más corto y parecido al del camello. La finura va de 20 a 38 μm y su largo de 8 a 25 cm.

El **guanaco** (*Lama guanicoe*) mide de 1.20 a 2.00 m de altura y puede pesar de 120 a 150 kg. Se le encuentra especialmente en el extremo sur de Argentina y Chile donde la población es aproximadamente de 500.000 animales. En el Perú la población de guanacos es de unos 5000, cantidad que lo pone al borde de la extinción. Es un animal que no puede ser domesticado, es muy rápido y - p.ej. en la región de Tierra del Fuego - es capaz de atravesar a nado de una isla a otra. Posee dos tipos de pelaje: uno compuesto de fibras finas (**14 a 16 μm de promedio**), suaves y cortas (**de 30 a 45 milímetros de largo**) y otro compuesto de fibras más gruesas y largas. Es capaz de suministrar unos 500 g de pelo por año pero este no se puede comercializar legalmente en los mercados internacionales, salvo que se cuente con autorizaciones expedidas por organismos oficiales de protección (como p.ej. el CITES "Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna"). Su precio oscila alrededor de los 150 U\$S/kg y se utiliza en forma parecida al pelo de vicuña.

13.3.0- CONEJOS

Otra categoría distinta la constituyen los pelos de **conejo**. En general son relativamente rígidos y no aceptan mucha torsión. El más importante, por su finura, largo y lustre, es el pelo del **conejo de Angora** (*Oryctolagus cuniculus*), que puede ser criado y esquilado. Cada animal rinde entre 250 y 450 g/año dependiendo de la alimentación (*se han obtenido hasta 1300 g/año con animales genéticamente seleccionados*). El principal país productor es China, seguido por Francia. Su producción oscila alrededor de 5000 tons/año y su precio entre los 16 y 30 U\$S/kg. El pelo de conejo de Angora (*no confundir con el pelo de cabra de Angora o Mohair*) se presenta en tres variedades: **1)** capa externa con fibras de 100 a 110 mm de largo, **2)** capa media con fibras de unos 80 mm de largo y, **3)** la capa interna con fibras de 60 mm de largo y finura de 14 μm . Este último tipo de fibra está considerada una de las fibras textiles más finas. Si bien los conejos de Angora pueden tener pelo de diferentes colores, la variedad seleccionada para uso textil tiene pelos blancos. Estos, mezclados con lana y con algo de poliamida, e hilando en sistema cardado, producen hilados muy apreciados por su suavidad y lustre, que se emplean, preferentemente, en tejidos de punto.

El **conejo de Flandes**, que se utiliza para carne, es de menor calidad. Luego de sacrificado el animal, se le retira la piel que, generalmente es almacenada en cámaras frías, para luego extraerle el pelo. Este debe ser adecuadamente procesado de acuerdo a normas sanitarias y se requieren permisos veterinarios para su utilización. El pelo de conejo de Flandes es generalmente de color blanco y siempre más corto que el de Angora. Es muy utilizado, también, mezclado con lana y poliamida para elaborar hilados cardados que, luego de tejidos, nos dan prendas con un interesante aspecto "piloso".

13.4.0- OTROS MAMÍFEROS

El **Yak** (*Bos grunniens*) es un bovino que vive en las estribaciones de los Himalayas. Los hay silvestres y domesticados. Posee dos capas de pelambre, y cada animal produce unos 100 g/año de fibra del pelambre interior. Es una fibra muy fina, entre 15 y 17 μm , comparable a la de vicuña. Su producción es muy baja y podría ser estimada en unas 1000 tons/año.

El "**Musk Ox**" (*buey almizclero*) vive en el norte de Canadá y en Groenlandia, en forma silvestre. Forma parte de la familia **Bovidae**. Son más cercanos a los ovinos y a las cabras que a los bovinos, y pertenecen a un género propio: **Ovibos**. Fue cazado casi hasta su extinción pero en 1917 fue protegido y su población se recuperó, alcanzando hoy día los 160.000 animales. El

muskox posee vellón exterior e interior, ambos de colores que van del marrón claro al marrón oscuro. Las fibras del vellón interior no son meduladas y su finura va de 17 a 22 μm con largos de 40 a 70 mm. La producción mundial oscila en las 3000 tons/año. Los suaves vellones interiores del “musk ox”, llamado **qiviut**, son esquilados una vez al año y enviados a **Oomingmak**, una cooperativa de esquimales. Los tejedores trabajan en sus casas, creando prendas de punto y capas que llevan el diseño tradicional de cada aldea.

TABLA 2.40

	REGIÓN DE ORIGEN	FINURA micras	LARGO mm	RENDIMIENTO POR ANIMAL Kg / año	2001 PRODUCCIÓN Tons / año	2001 PRECIO U\$S / kg
CACHEMERE	Asia Central (Tibet)	12-19 (“douvet”) 18-32 (exterior)	35-50 (“douvet”) 150 (exterior)	0,10-0,16	9000 - 10000	100-130
MOHAIR	Asia Menor (Turquía) y Sudáfrica	24-40	85-250	4-10	7000	7-8
CAMELLO (Bactriano)	Asia Central (China, Mongolia, etc.)	18-24	4-13 (“douvet”) 36- 40 (exterior)	3,5- 5	4500	9,5-24
ALPACA	Sudamérica (países andinos)	20-36 (10-50)	200-550	3-5	4000-5000	2-10
LLAMA	Sudamérica (países andinos)	20-38	80-250	2-5	2500-2750	2-4
VICUÑA	Sudamérica (países andinos)	10-15 (6-25)	20-40	0,9	5	360
ANGORA	Diverso	14	60	0,4-0,80	3000	20
FLANDES	Diverso	14	25	0,5-1,0	S / d	s/d
YAK	Tibet	15-17	40-50	0,10	1000	s/d
MUSK OX	Alaska y Groenlandia	17-22	40-70	1,5	3000	s/d

BIBLIOGRAFÍA

- 1- “Handbook of Textile Fibres”, J.Gordon Cook, Marrow Technical Library, Durham, England , 1984.
- 2- “Cashmere, Mohair and Other Luxury Animal Fibres”, Michael Ryder, 4 Osprey Close, Southampton, UK,
- 3- “Silk, Mohair, Cashmere and Related Fibres”, Ed. R.Franck, , Woodhead Publ. Ltd., England, 2001
Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>
- 4- Alpaca, <[http:// www.alpacanet.com/fiber.html](http://www.alpacanet.com/fiber.html)>



Figura 2.127 **CABRA CASHMERE**



© 1997 Oklahoma State University

Figura 2.128 **CABRAS DE ANGORA (Mohair)**



Figura 2.129 - CAMELLO BACTRIANO



Figura 2.130 - ALPACA



Figura 2.131 VICUÑAS



Figura 2.132 LLAMA



Figura 2.133 GUANACO



Figura 2.134 **CONEJO DE ANGORA**



Figura 2.135 **CONEJO DE FLANDES**



Figura 2.136 – YAKS (domesticados)



Figura 2.137- Muskoxen

14.0.0- FIBRAS MINERALES

14.1.0- FIBRA DE VIDRIO

La **fibra de vidrio** es obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos ("espinerette"). Al enfriar y solidificarse el tipo de vidrio empleado tiene que tener suficiente flexibilidad para ser usado como fibra.

Sus propiedades de aislante térmico, su resistencia a los ácidos y a la temperatura sumado al bajo precio de la materia prima, hace que tenga muchas aplicaciones industriales. Una de las más importantes es su utilización en composites con resinas de poliéster para hacer cascos de veleros, botes, tanques, tablas de surf, esculturas, etc. La fibra de vidrio, también es usada para realizar los cables de fibra óptica utilizados en el mundo de las telecomunicaciones para transmitir señales lumínicas producidas por laser o LEDs.

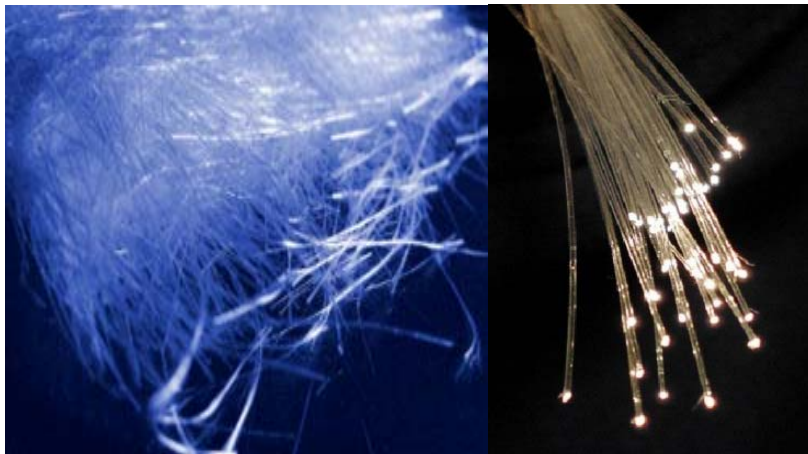


Figura 2.138 Fibra de Vidrio

Figura 2.139 Fibra óptica

14.2.0- FIBRA DE ASBESTO

El asbesto o amianto ("*asbestos*" proviene del latín y significa "*incombustible*") es el nombre dado a un grupo de seis minerales fibrosos - *amosita* o *asbesto marrón*, *crisotilo* o *asbesto blanco*, *crocidolita* o *asbesto azul*, y las variedades fibrosas de *tremolita*, de *actinolita*, y de *antofilita* -que existen de forma natural en el ambiente. Los minerales de asbesto tienen fibras largas que se pueden separar. Son suficientemente flexibles como para ser hiladas. Tienen buena resistencia mecánica y resisten las altas temperaturas. Debido a estas características, el asbesto se ha usado para elaborar prendas resistentes al fuego, p.ej. para operarios de altos hornos, bomberos, etc. Se utiliza además en una gran variedad de productos manufacturados, como materiales de construcción (p.ej. *tejas*, *balosas* y *azulejos*), productos de fricción (p.ej. *embrague*, *frenos*, *componentes de la transmisión en automóviles*), empaquetaduras, y revestimientos.

El asbesto es un material peligroso y debería utilizarse con extremas precauciones. Respirar altos niveles de fibras de asbesto puede producir lesiones en el pulmón y en la pleura (*asbestosis*). Los niveles más altos se encuentran generalmente en ciudades y en áreas industriales. Las fibras pueden también liberarse al aire al manipular materiales que contienen asbesto p.ej. en demoliciones, mantenimiento, reparación y renovación de edificios o viviendas. La combinación de exposición al asbesto y al humo de cigarrillo aumenta considerablemente las posibilidades de contraer cáncer del pulmón.

15.0.0- FIBRAS ARTIFICIALES

La Guerra de Secesión que entre 1861 y 1865 enfrentó a los estados del norte contra los estados del sur de los EEUU ocasionó importantes repercusiones para el mundo textil de la época. Los estados del norte proteccionistas y con mano de obra libre y asalariada, iniciaban una vigorosa industrialización en competencia con Europa. Los estados del sur librecambistas, esclavistas, aristocráticos y feudales, querían mantener su forma de vida agraria y su comercio tradicional con Europa. El enfrentamiento era inevitable. Cuando la Unión del norte bloquea los puertos de la Confederación sureña, esta no puede vender más algodón a las hilanderías inglesas. Esto produce una tremenda escasez, primero en Inglaterra y después en toda Europa, que se conoció como “*el hambre del algodón*”. Como una importante consecuencia política de la escasez de algodón, podemos mencionar la afirmación del poder del imperio británico en la India, Egipto y Sudán, países que con sus producciones paliaron de alguna forma la falta del algodón americano. Otra consecuencia fue el aumento de la importancia relativa de la lana. Es justamente en la década de 1860 que comienza la explotación ovina en Argentina y Uruguay, iniciada por hacendados ingleses y galeses. Pero sin duda la consecuencia “textil” más relevante de la “Guerra de Secesión” es la aceleración que adquieren, en esos años, los trabajos e investigaciones para producir **fibras artificiales**.

Los primeros intentos de crear **fibras artificiales** se remontan a 1664 cuando el naturalista inglés *Robert Hooke* sugirió la posibilidad de imitar la seda así como el filamento con que las arañas tejen sus telas. *René Antoine Ferchault de Réaumur* en Francia, en 1734, tuvo ideas similares. Pero recién en 1855 el químico suizo *George Audemars* logró disolver la corteza interna fibrosa de la morera y producir una solución de celulosa de la que extraía filamentos, sumergiendo y retirando agujas. En 1862 *M. Ozanam* en Francia, propuso disolver seda en ácido nítrico y extruirla a través de una placa con orificios de distinto tamaño, pero no tuvo éxito en desarrollar un procedimiento de coagulación de los filamentos. Se produce un avance importante cuando, en los primeros años que siguieron a 1880, *Sir Joseph W. Swan*, un químico y electricista inglés, hizo pasar por pequeños orificios una solución viscosa de **celulosa**, similar a la desarrollada por *Audemars*. La solución de celulosa salía de los orificios a un baño donde, por cambio de solvente, era coagulada en forma de filamentos. Estos filamentos se usaron en las primeras lámparas incandescentes inventadas por *Thomas Edison* y también, en 1885, se exhibieron en Londres algunas telas tejidas con ellos que no pasaron de ser curiosidades sin aplicación comercial. Unos años más tarde, en la Exposición Universal de París de 1889, se da un gran paso adelante cuando el conde *Hilario Bernigaud de Chardonnet* exhibe sus filamentos de **nitrocelulosa**. La “seda Chardonnet” presentaba grandes inconvenientes: tenía brillo excesivo, era pesada, dura y menos elástica que la seda natural, no era lavable, era difícil de teñir y lo peor, era muy inflamable. A pesar de todos estos inconvenientes a partir de este momento se inicia una cadena de éxitos que lleva al desarrollo de los “ **rayones**”. La palabra “ **Rayon**” es un nombre de fantasía, que en su momento impusieron las autoridades francesas con el fin de evitar cualquier confusión comercial con la seda natural. Primero aparecerá el “ **rayon cuproamónico**” o “ **rayon cupro**”, luego el “ **rayon viscosa**” y el “ **rayon acetato**” (*di y tri*) y finalmente, ya en épocas recientes, el “ **Lyocel**”. Las fibras artificiales no son solo celulósicas. Las hay también **proteicas**, que si bien han tenido un desarrollo interesante, solo algunas de ellas encontraron una limitada aplicación práctica.

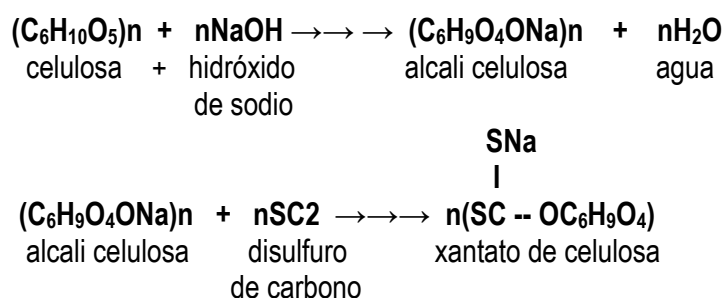
15.1.0- RAYON CUPRO

Fue desarrollado inicialmente por el francés *Louis-Henri Despeissis* disolviendo celulosa pura en solución cuproamoniacal (*Reactivo de Schweizer*) que era extruída a través de un “*spinirette*” para coagularla luego, en forma de filamentos, en un baño fuertemente ácido (“*wet spinning*”).

Los restos de amoníaco y cobre eran luego eliminados con soluciones diluidas de ácido clorhídrico. A diferencia de la seda Chardonet, el rayon cupro tenía la ventaja de no ser inflamable. El proceso fue mejorado por la firma *J.B.Bemberg AG* que obtuvo filamentos delgados, fuertes y brillantes con los que se tejieron, con gran suceso, las primeras medias para damas de “seda artificial”. Sin embargo el *rayon cupro* sería desplazado gradualmente por el *rayon viscosa* y hoy día prácticamente casi no se produce más.

15.2.0- RAYON VISCOZA

El desarrollo del “*rayon viscosa*” (llamada a veces “*fibrana*”) fue precedido de las investigaciones de *Ch.F.Cross*, *E.J.Bevan* y *C.Beadle* en 1892 sobre la química de la celulosa con el fin de esclarecer algunos aspectos del proceso de producción de papel. Estos investigadores descubrieron que la **alcali-celulosa**, obtenida tratando la celulosa con **soluciones concentradas de álcalis**, reaccionaba con el **disulfuro de carbono** para dar **xantato de celulosa**, soluble en agua.



Pasando la masa viscosa de xantato de celulosa por un “*spinirette*”, los filamentos que se van formando se van **coagulando** en un baño de **sulfato de amonio**. Pasando a continuación estos filamentos por un baño de ácido sulfúrico diluido, **se regenera la celulosa**. Este proceso es del tipo de hilatura húmeda (“*wet spinning*”) (ver sección 210). El **rayón viscosa** puede definirse como **“una fibra manufacturada compuesta de celulosa regenerada, en la que no más del 15 % del hidrógeno de los grupos hidroxilo están sustituidos”**.

El proceso industrial fue un éxito desde su comienzo, en 1900, pero el gran aumento de producción se ubica entre 1925 y 1955. Al comienzo solo se producía filamento y recién en 1916 se produce fibra cortada. En 1930, con el agregado de cinc a los baños de coagulación y, en 1947, con la adición de aditivos especiales a la fibra, se desarrollan “**rayones viscosas**” de muy alta performance destinados principalmente a la producción de entretelas para cubiertas de automóviles.

Como materia prima se utiliza pulpa de madera, especialmente tratada, conocida como “*pasta química*”, que se caracteriza por un alto contenido de **α -cellulose** y por estar relativamente libre de lignina y hemicelulosas y otros carbohidratos de cadena corta. La “*pasta química*” y el resto de los productos químicos utilizados son relativamente baratos. La introducción de mejoras en el proceso por Ch. F. Topham, como la “*maduración*” para regular la viscosidad de extrusión y el aumento de la resistencia tensil permitieron que rápidamente el “**rayon viscosa**” fuera un suceso comercial. La difusión de su uso como fibra cortada o “*staple*” para ser mezclada primero con algodón y luego con poliéster, la ha llevado, hoy día, a representar, aprox., el 5% de todas las fibras textiles consumidas. Se emplea en la confección de blusas, camisas, sábanas, manteles, prendas de uso médico, tapicería, etc.

Como características del “**rayon viscosa**” podemos señalar que: **1)** es una fibra relativamente barata (*más barata que el algodón*), **2)** es más limpia y regular que el algodón, **3)** se puede usar

tanto como filamento o como fibra cortada (“*staple*”), **4**) absorbe mucha agua, pero no seca fácilmente (*una viscosa desarrollada por la empresa Courtaulds absorbe hasta tres veces más agua que la fibra standard*), **5**) en general no tiene resistencia en húmedo: la disminución de resistencia en húmedo puede llegar hasta un 70% (*Por esta razón conviene limpiar “en seco” las prendas que contienen “viscosa”. En caso de lavarlas a mano, o en lavarropa, deben tomarse precauciones como no utilizar hipoclorito de sodio, especialmente si están teñidas o estampadas, lavarlas con agua tibia, secarlas a la sombra sin retorcerlas ni colgarlas y, como la viscosa es una fibra sensible al calor, plancharlas cuidadosamente con plancha tibia*), **6**) las variantes mejoradas, como las fibras “**polinósicas**” o “**modales**”, tienen resistencias en húmedo mucho mayores, lo que permite que las prendas de mezcla viscosa/poliéster tengan un comportamiento más homogéneo cuando son sometidas a esfuerzos en medio acuoso. **7**) las telas hechas con rayon viscosa son *suaves, confortables y de buena caída* pero, debido a la poca elasticidad de la fibra, se arrugan fácilmente (*a menos que se les aplique una terminación antiarrugas con productos químicos adecuados*), **8**) resiste los álcalis diluidos pero las soluciones de álcalis concentrados la hinchan y finalmente la dañan, **9**) es dañada por los ácidos aún en soluciones diluidas, **10**) es inflamable, salvo que tenga un tratamiento ignífugo, **11**) se tiñe fácilmente con los mismos colorantes que tiñen el algodón: directos, tina, sulfuro, reactivos y diazotables, **12**) En general debe ser “delustrada” con dióxido de titanio, que se mezcla con el polímero antes de extruir los filamentos, para quitarle transparencia y brillo y darle un aspecto mate, más similar al del algodón.

15.3.0- RAYON DIACETATO Y RAYON TRIACETATO

El acetato de celulosa fue desarrollado en 1893 en Boston (USA) por *Arthur D. Little* y se le utilizó en la industria del plástico y durante la *Primera Guerra Mundial (1914-1918)* como “*dope*” de telas de aviones. La celulosa purificada obtenida de la pulpa de la madera, se acetilaba con una mezcla de anhídrido y ácido acético en presencia de ácido sulfúrico. La celulosa completamente acetilada no era soluble en los solventes de los que se disponía en esa época. Por tanto, se producía primero triacetato que luego se hidrolizaba parcialmente para obtener un producto que tenía 2 grupos acetilos por residuo de *glucosa (que tiene tres grupos hidroxilos libres para ser acetilados)*. La fibra producida a partir de este polímero fue conocida como “*rayón diacetato*” o simplemente “*rayon acetato*”. Años más tarde, cuando aparece el *dicloruro de metileno*, que junto con *metanol*, es capaz de disolver el triacetato, se lanza al mercado el “*rayon triacetato*”, con propiedades bien diferentes a las del “*diacetato*”.

Más precisamente, en el *diacetato*, la celulosa tiene 74 a 92 % de sus grupos hidroxilos acetilados, y en el *triacetato* el 92 a casi el 100%. El *diacetato* se disuelve en acetona y esta solución se pasa por los “*spiniretts*”. La acetona se evapora en corriente de aire caliente (“*dry spinning*”) para luego ser recuperada. El *triacetato*, en forma similar, se disuelve en una mezcla de cloruro de metileno y metanol que también luego se recupera.

El *diacetato de celulosa* es: **1**) de tacto sedoso; **2**) brillante; **3**) tiene una buena “mano” y “caída”; **4**) absorbe poco agua, *no encoge* y seca rápido (*sin embargo las prendas de diacetato no son confortables en tiempo caluroso*); **5**) es de baja combustibilidad; **6**) tiene un poco más de tenacidad, elasticidad y extensibilidad que el rayon viscosa; **7**) por su superficie lisa, las telas de acetato son de baja ensuciabilidad; **8**) resiste polillas y hongos; **9**) es muy sensible al calor: a 80°C comienza a ablandarse (*debe por tanto teñirse, en lo posible por debajo de esa temperatura y plancharse con plancha tibia, del lado del revés y con un paño protector de algodón*); **10**) se arruga y quiebra, sobre todo en caliente, y por tanto debe teñirse a lo ancho y secarse sin retorcer; **11**) se puede teñir con colorantes dispersos en una gran diversidad de colores. Entre los usos principales del *diacetato* están aquellos en que se le usa como filamento

continuo en artículos en los que se busca un brillo similar al de la seda, como forros de traje, corbatas, blusas de dama, pañuelos, etc.

El *triacetato de celulosa* tiene un punto de fusión más alto y puede ser planchado y fijado a temperaturas más altas que el *diacetato* sin pérdida de lustre. Se puede usar para confeccionar telas “plisadas” que, si bien **no** tienen la resistencia y la durabilidad de similares hechas con “nylon” o poliéster, son mucho más baratas, de fácil lavado, bajo encogimiento y resistentes al arrugado. El triacetato tiene también mayor resistencia a la luz que el *diacetato* pero es más difícil de teñir que este. Es utilizado tanto como filamento continuo texturizado o como fibra cortada (“*staple*”) en variedad de prendas deportivas, blusas, faldas plisadas, etc. Una importante aplicación no textil es su uso como “cable” o “tow” cortado para filtros de cigarrillos.

15.4.0- LYOCEL

Un proceso que simplemente consistiera en disolver celulosa, en un solvente apropiado, sin pasar por la formación de compuestos intermedios, para luego obtener filamentos por extrusión a través de “spinirettes”, recuperando el solvente para su reutilización sin contaminación del medio ambiente, fue siempre considerado como ideal para obtener una fibra celulósica artificial. Un proceso de este tipo fue desarrollada por las firmas *Lenzing* de Austria (“*Lyocell*”) y por *Courtaulds* de UK (“*Tencel*”). En 1992, Courtaulds, productora líder de rayon viscosa, lanzó al mercado su fibra “*Tencel*” que es obtenida por disolución de pasta química de madera en un **óxido de amina** que luego es recuperado.

Además de producirse por un proceso prácticamente no contaminante, el “*Tencel*” posee propiedades excelentes. Como fibra celulósica tiene una buena absorción de humedad, es biodegradable y de fácil teñido. **Su resistencia a la tracción y tenacidad es superior a la del algodón y a la del rayon viscosa y similar a la del poliéster por lo que resulta ideal para mezclar con esta última fibra.** En húmedo su resistencia a la tracción disminuye solo un 15% y tiene muy bajo encogimiento. Las telas presentan gran suavidad (*tacto “agamuzado”*), un lustre similar al lino, una “mano” y caída similar a la seda y baja arrugabilidad. Con “*Tencel*” de 1,7 dtex se pueden producir hilados muy delgados, de p.ej 50 Ne, lo que a su vez permite tejer telas muy livianas (*de p.ej. 80 g/m²*). Con telas de *Tencel* se confeccionan preferentemente vestidos y blusas de dama, por ahora de alto precio, que se pueden lavar o limpiar en seco sin inconvenientes.

Sometida a la abrasión húmeda la fibra presenta el fenómeno de “fibrilación”, es decir la formación o separación de pequeñas fibras en su superficie (*ver Figura 2.140*). Con tratamientos de superficie especiales se pueden obtener telas con efectos sorprendentes. Sin embargo los métodos de tintura de las telas deben ser adecuados para no producir fibrilaciones incontroladas. El “*Tencel*” como la más reciente e innovadora de las fibras artificiales, está generando nuevas e interesantes posibilidades para los diseñadores textiles.

TABLA 2.41 * TENCEL COMPARADO CON OTRAS FIBRAS

	<i>TENCEL</i>	<i>Viscosa</i>	<i>Algodón</i>	<i>Poliéster</i>
<i>Denier</i>	1,5	1,5	-	1,5
Tenacidad (*), (g / den)	4,8 – 5,0	2,6 – 3,1	2,4 – 2,9	4,8 – 6,0
Extensión a la rotura (*), %	14 - 16	20 - 25	7,0 – 9,0	25 - 30
Tenacidad en húmedo (g / den)	4,2 -4,6	1,2 – 1,8	3,1 – 3,6	4,8 – 6,0
Extensión a la rotura en húmedo, %	16 - 18	25 - 30	12 – 14	25 – 30
Regain (*), %	11	14	8	0,4

(*) En condiciones estándar, 20°C y 65 % HR

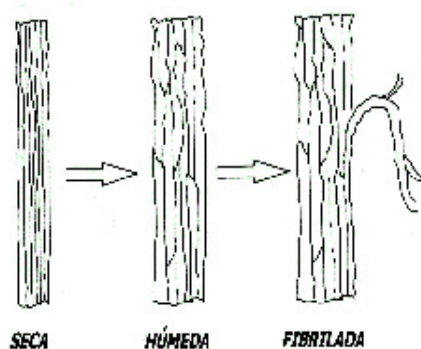


Figura 2.140 – Fibrilación del Lyocel

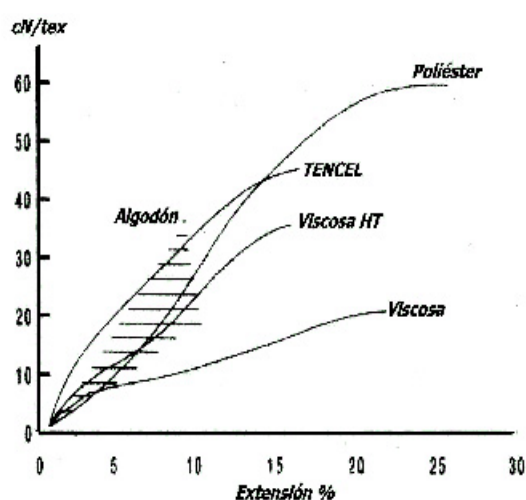


Figura 2.141 - Diagramas de Esfuerzo / Deformación de algunas fibras artificiales

15.5.0- FIBRAS ARTIFICIALES PROTEICAS

Un primer intento en la producción de fibras artificiales proteicas fue disolver restos de artículos de seda (*hilado, telas o prendas*) usados y descartados, así como capullos no utilizados por su baja calidad, en solventes apropiados, como el licor cuproamoniaco de Schweizer. El líquido viscoso obtenido era luego hilado por extrusión a través de orificios de "spinirette" pero la calidad de los filamentos resultantes estaban muy lejos de ser similares de los de la seda natural.

Disolviendo restos de lana en una solución al 25% de sulfuro de sodio y luego precipitando con ácido clorhídrico, se obtiene un material que, luego de secado, molido y mezclado con **caseína** (2 a 4 partes de proteínas de la lana a 1 parte de caseína) se puede disolver en soda cáustica al 1%. El líquido viscoso que se obtiene puede ser luego extrudido para obtener filamentos que se endurecen pasándolos por un baño de formaldehído. Procedimientos similares utilizando caseínas de distintos tipos, mezclas de gelatina con nitrocelulosa, restos de materiales ricos en colágeno de las curtiembres, proteínas vegetales de soja, de maíz, etc. han dado como resultado filamentos con propiedades inferiores a la lana y con tenacidades y resistencias a la tracción **en húmedo** muy bajas. Sin embargo muchos de ellos se emplean para mezclarlos con lana, a la que le mejoran su capacidad de afieltrado. Estas mezclas con lana y pelo de conejo son ideales para utilizarlas en la fabricación de sombreros de fieltro. En la Tabla 2.42 se muestran en forma comparativa algunas propiedades de estas fibras.

TABLA 2.42 * ALGUNAS FIBRAS ARTIFICIALES PROTEICAS

NOMBRE COMERCIAL	Vanduara	Merinova	Silkpol	Ardil	Vicara	LANA <i>Como testigo</i>
Materia Prima	seda	caseina	soya	maní	maíz	
Densidad (*), g/cm ³	1,37	1,30	1,30	1,30	1,25	1,33
Regain (*), %	sd	13,5 – 14	11,5	15	13	14,5
Tenacidad (*), (g / den)	0,55	1,0 – 1,2	0,55	0,7 – 0,9	1,1 – 1,3	1,1 – 1,8
Extensión a la rotura (*), %	4,5	50 – 70	5,1	40 – 60	30 – 35	28 – 48
Tenacidad (**), %	7,4	40 - 55	44,2	30	45 - 55	76 - 87

(*) En condiciones estándar, 20°C y 65 % HR; (**) % de la Tenacidad en condiciones estándar

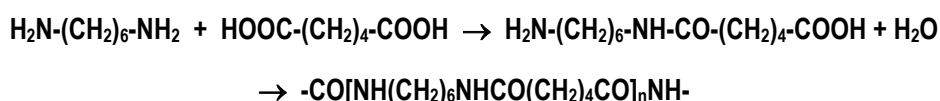
BIBLIOGRAFÍA

- 1- *“La Guerra Secreta por el Algodón”, Anton Zischka, Ed. Claridad, Bs.As., 1940*
- 2- *“Artificial Silk”, CIBA REVIEW, , Nº 2, 1967*
- 3- *“Man Made Fibers”, H.F.Marks, S.M.Atlas, E.Cernia. Interscience Publishers, New York, 1967*
- 4- *“Viscose Fibres”, J.E.Ford, Textiles, 1991, N°3*
- 5- *“Regenerated Cellulose Fibres” Ed. C.Woodings, , Woodhead Publ. Ltd., England, 2001, sales@woodhead-publishing.com*
- 6- *“New Fibres from Proteins”, Wormell, R.L., Butterworth, 1954, London*

16.0.0- FIBRAS SINTÉTICAS

16.1.0- POLIAMIDAS

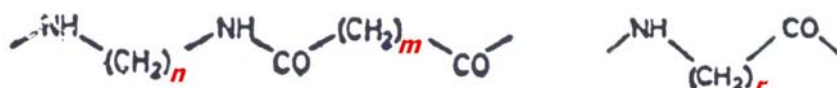
A partir del año 1931 comienza el gran desarrollo de las fibras **sintéticas**, llamadas así por ser hechas por síntesis química o polimerización de monómeros sencillos (*generalmente de origen petroquímico*) y no por modificación de polímeros naturales ya existentes (*p.ej. la celulosa*), como es el caso de las fibras **artificiales**. En ese año, el *Dr. Wallace Carothers* de la empresa Du Pont (USA), como resultado de las investigaciones fundamentales que venía realizando, desarrolla la primera fibra sintética **poliamídica**, el "**Nylon 66**", polímero obtenido por reacción de policondensación de la **hexametilendiamina** y el **ácido adípico**:



El **Nylon 66** de DuPont se desarrolla en 1928 pero comienza a producirse en 1939. Durante la 2da. Guerra Mundial es utilizado como material estratégico en la construcción de paracaídas, sustituyendo a la seda controlada por Japón. En 1945, cuando termina la guerra, vuelve a ser utilizado, con gran éxito, en la elaboración de medias de damas, mucho más económicas que las tradicionales, hechas de seda. Para la producción de **Nylon 66** se deben emplear temperaturas de aproximadamente 280 °C, en atmósfera inerte. El polímero lineal debe alcanzar valores de peso molecular entre 12.000 y 20.000 y de manera que la viscosidad obtenida permita la producción de filamentos a través de un "spinirette". Esto se logra agregando cantidades adecuadas de un estabilizador monofuncional como el ácido acético (*o también agregando un ligero exceso de ácido adípico*) de manera que en una determinada etapa del proceso (*que dependerá de la cantidad de estabilizador agregado*) las moléculas poliméricas tendrán un **grupo ácido** en cada extremo y no habrán ya suficientes **grupos aminos** disponibles para continuar la reacción.

Los filamentos son producidos por fusión, extrusión, solidificación y estiraje en frío. Sus propiedades más destacables son que: **1)** se pueden obtener filamentos de muy bajo denier y de fácil texturización; **2)** como fibra cortada o "staple", se puede mezclar con otras fibras discontinuas; **3)** el material posee alta tenacidad y gran resistencia a la tracción y a la abrasión (mayor que la seda) y es moderadamente elástica; **4)** es de alto brillo o "lustre", lo que confiere a los artículos un aspecto "sintético" que en general no agrada (*debe ser "delustrada" con dióxido de titanio que se mezcla con el polímero antes de extruir los filamentos*); **5)** es poco higroscópica (aprox. 6% de regain); **6)** es fácil de lavar y secar, y no encoge; **7)** tiene buena resistencia a los aceites y a la acción moderada de muchos agentes químicos; **8)** es fácil de teñir con colorantes ácidos y dispersos.

El **Nylon 66** es actualmente muy utilizado, además de en medias, en prendas deportivas, trajes de baño, alfombras, tapicería, cordelería, artículos de camping, paracaídas, bolsas inflables de seguridad antichoque para automóviles, etc. Al **Nylon 6.6** se le llamó así por la cantidad de carbonos presentes en las moléculas de los dos reactantes de los que proviene. Posteriormente se sintetizó el **Nylon 6.10** por la reacción de condensación entre la **hexametilen diamina** y el **ácido sebácico**. Más tarde, en Europa, se descubrió un nuevo método de producir poliamidas a partir de **ω -aminoácidos**. Los nylons preparados por este método se designan con un solo número, que deriva de la cantidad de átomos de carbono del aminoácido del que proceden. Así tenemos el **Nylon 6** obtenido en 1938, por Paul Schlack de la I.G.Farben Co., por polimerización de **caprolactama** o **ácido ω -amino-caproico** y el **Nylon 11** obtenido a partir del ácido **ω -amino-undecanoico**.



En el Nylon 66, $n = 6$ y $m + 2 = 6$. En el Nylon 6.10., $n = 6$ y $m + 2 = 10$. En el Nylon 6, $r + 1 = 6$.
En el Nylon 11, $r + 1 = 11$

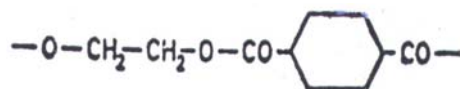
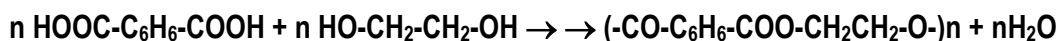
El proceso de producción del **Nylon 6** es algo más sencillo que el del **Nylon 6.6**. El **Nylon 6** tiene mejor elasticidad, mejor resistencia al calor y a la luz y es más fácil de teñir que el **Nylon 6.6**. Sin embargo su punto de fusión es más bajo de manera que los artículos de **Nylon 6** deben plancharse a baja temperatura y con cuidado.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Man Made Fibers", H.F.Marks, S.M.Atlas, E.Cernia. Interscience Publishers, New York, 1967
- 2- "Nylon 6 and Nylon 66: How different are they?", R.A.F.MOORE, AAOCC, Vol 21, N°2, Feb, 1989

16.2.0- POLIESTERES

Poco tiempo después de que Carothers obtuviera la primer fibra poliamida (1931-1932), J.R.Whinfield y J.T.Dickson de Calico Printer's Association de Inglaterra, esterificando **etilenglicol** con un ácido aromático dibásico - el **ácido tereftálico** - obtuvieron un polímero o poliéster (**PES**), con el que se podían producir fibras de excelentes propiedades.



(donde n es aproximadamente 80)

Esta fibra fue lanzada al mercado por primera vez por ICI, en 1941, bajo el nombre comercial de *Terylene*. Desde entonces esta fibra se produce en grandes cantidades por varias empresas y con diferentes nombres comerciales. Posteriormente se utilizó **dimetil-tereftalato** en lugar de **ácido tereftálico**. El *dimetil-tereftalato* se puede obtener con mayor grado de pureza que el **ácido tereftálico** y por lo tanto se le prefiere pues, la pureza de los monómeros es de gran importancia para la producción de altos polímeros. Actualmente existen en el mercado diversas fibras *poliéster* elaboradas con polímeros con ligeras variantes estructurales e identificados por distintas marcas comerciales. El polietilen-tereftalato (*llamado **PET** en USA*) se utiliza mucho actualmente para la producción de botellas transparentes para agua y refrescos. Estas botellas descartables pueden ser recicladas para convertirlas en fibra textil. El **PBT** es otra sigla para variantes que utilizan otro diol en el proceso de policondensación, como p.ej. para el caso del polibutil-tereftalato. Los **PBT** en general más caros, son más parecidos al nylon en sus propiedades y por ejemplo se pueden utilizar en la producción de medias de damas, aplicación fuera de posibilidades para el **PES**

Al igual que el *Nylon*, el **poliéster** también se obtiene por fusión, extrusión y estirado en frío. Puede incluir pigmentos como el TiO_2 u otros, compuestos antiestáticos y/o ignífugos. Las variedades de alta tenacidad deben ser de muy alto peso y orientación molecular. La forma de la sección puede ser de diversos tipos: circular, trilobal, hueca, etc. Sus propiedades más destacables que lo hacen **preferible al Nylon para muchas aplicaciones**, son: **1) alto módulo de Young inicial** (en general, no menor a 900 cN/tex para filamentos continuos), lo que la hace una fibra rígida con muy **buena resistencia al estirado y al arrugado**, pero que no es tan elástica como el *Nylon*; **2) alta tenacidad en seco** (45–80 cN / tex) y en húmedo (75% del valor en seco), **alta resistencia a la tracción y a la abrasión**, lo que hace que los artículos de poliéster sean más durables que los hechos con fibras naturales; **3) alta temperatura de transición vítrea, T_g y alto punto de fusión** (250°C), lo que lo hace más resistente que el *Nylon* a las temperaturas

relativamente altas (*se puede texturizar, sin embargo, con relativa facilidad*); **4) mano más “seca” y menos lustre que el Nylon**, lo que lo hace más compatible en mezclas con algodón y lana; **5) resistente a hongos y otros microorganismos**, así como a moderados ataques químicos; **6) hidrófoba** (*aprox. 3% de regain*), lo que lo hace *fácil de lavar, seca rápidamente y no encoge*; **7) alta resistividad**, lo que hace que se cargue electrostáticamente muy fácilmente, **8) es teñible solo con colorantes dispersos**.

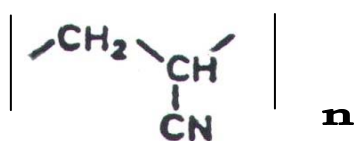
La fibra **poliéster**, 50 años después de haber sido sintetizada por primera vez, es hoy día la fibra química de mayor producción y consumo – *la segunda de todas las producidas y el 50 % de todas las hechas por el hombre* - siendo su participación en el mercado, cercana a la del algodón. Como filamento liso o texturizado, y también como hilado de fibra cortada, se utiliza en diversos artículos para la industria y el hogar, como p.ej. telas de tapicería, cinturones de seguridad, mangueras, cordeles, cortinas, alfombras, acolchados, etc. En prendas, se utiliza sobre todo, como hilado de **mezcla** de fibra cortada (“*staple*”) con **lana** y con **algodón**. Las excelentes propiedades de las prendas hechas con estas mezclas explican, en gran medida, la importancia que ha tomado la fibra poliéster en el mundo actual. Especialmente la mezcla con algodón condujo a la novedad de las prendas “**lavilista**” (“*wash and wear*”) que constituyeron una verdadera revolución en lo que respecta a la performance de un artículo textil.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- “Fibras de Poliéster”, Prof. J. Guillén, Inst. de Investigaciones Textiles, Terrassa, España, 1991
- 2- “Polyester”, J.E.Ford, Textiles, 2, 1991.
- 3- “The Polyester Story”, D. Brunnschweiler and J.Hearle. Textiles, 3, 1992
- 4- “Polyester: 50 Years of Achievement”, The Textile Institute, 1993
- 5- “The Polyester/Cotton Mixture”, Textile Magazine, N°4, 1994
- 1- “El polítrimetileno tereftalato (PTT), ¿posible futuro sustituto del poliéster?”, Akira Yonenaga, International Textile Bulletin, 5ta. Edición, Octubre 2000, vol. 46, pág. 35

16.3.0- ACRÍLICAS Y MODACRÍLICAS

La primera fibra acrílica fue desarrollada por la firma DuPont en los años 1940 a 1950 y salió al mercado con el nombre de “Orlon”. Se trataba de un homopolímero con un mínimo de **85%** de unidades de **acrilonitrilo**. Este polímero, si bien era barato y presentaba alta tenacidad y resistencia como el Nylon y el poliéster, no era fácil de teñir y era muy inflamable.



Donde **n** puede tener valores entre 600 y 2000

Copolimerizando el **acrilonitrilo** con otros monómeros como el **cloruro de vinilo** o de **vinilideno** se mejora la capacidad tintórea y se baja la inflamabilidad del material. A las fibras hechas por copolimerización, en donde el **acrilonitrilo** participa en **no menos del 35% pero no más del 85%**, se les llama fibras “**modacrílicas**”. La presencia de grupos terminales aniónicos hace que las fibras poliacrilonitrilas se deban teñir con **colorantes básicos**, obteniéndose en general con ellos, buen brillo, intensidad de color así como buenas solideces húmedas y a la luz. Con **colorantes dispersos** se pueden obtener solo colores pastel lo que, sumado a las menores solideces húmedas que se obtienen, hace que estos colorantes se utilicen relativamente poco para teñir fibras acrílicas. Las principales propiedades y características de las fibras **modacrílicas** son: **1)** como resultado de la copolimerización tienen menor resistencia a la tracción que el Nylon (*menos de la mitad*) y también menor resistencia a la abrasión (*su extensibilidad en cambio puede llegar al 40 %*); **2)** la resistencia disminuye en agua caliente, por lo que las prendas deben ser lavadas con agua tibia y con cuidado y no colgarse húmedas para

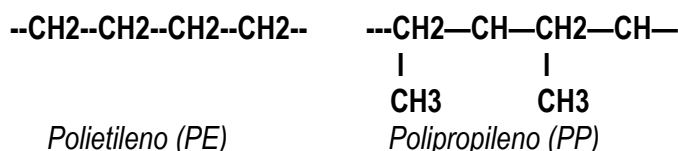
evitar que se deformen; **3)** secan fácilmente y no absorben casi humedad del aire (*tiene un "regain" muy bajo, 1-2%*); **4)** transportan rápidamente la humedad de la superficie de la piel, sin retenerla, ejerciendo así un efecto tipo "mecha"; **5)** se cargan fácilmente de electricidad estática, especialmente en tiempo muy seco, atrayendo a la suciedad y al polvo suspendido en el aire; **6)** la inflamabilidad, es en general baja dependiendo de la cantidad de copolímero clorado presente (*esto debe tenerse especialmente en cuenta para la confección de prendas de dormir de niños*); **7)** son resistentes a ácidos y álcalis, a la mayor parte de los solventes orgánicos comunes, a los agentes oxidantes, a la polilla, hongos y microorganismos; **8)** son también muy resistentes a la luz y a la acción de la intemperie (*calor y humedad*), siendo ideales para confeccionar artículos que se usan en esas condiciones (*banderas, p.ej*); **9)** su bajo punto de fusión permite estirarlas y fijar prendas de diversas formas; **10)** las prendas son, en general, suaves, livianas, de gran voluminosidad, de gran estabilidad dimensional (*conservan la forma*), de gran retención calorífica, secan rápido y son fáciles de cuidar; **11)** se pueden teñir en muy brillantes colores con colorantes catiónicos (*también se puede adquirir la fibra ya teñida en masa*); **12)** mezclando fibras de alto y bajo encogimiento térmico se puede obtener hilados que, luego de vaporizados, desarrollan una muy alta voluminosidad (*hilados HB o "High Bulk"*); **13)** son un sustituto barato de la lana: los hilados de mezcla de fibra modacrílica con lana, o con algodón, permiten obtener artículos de **tejido de punto**, especialmente "sweaters", muy atractivos y baratos; **14)** las prendas de punto tienen tendencia a formar "pilling", especialmente cuando son tejidas con hilados con poca cantidad de torsión. Las fibras modacrílicas se utilizan preferentemente en prendas de tejido de punto, especialmente "sweaters", pero también en tapicería, alfombras, mantas, cortinas, calcetines, etc. Son excelentes para producir **pieles sintéticas** que imitan muy bien a las naturales.

BIBLIOGRAFÍA

1- "Acrylic Fibres", J.E.Ford, Textiles, 2, 1992

16.4.0- POLIOLEFÍNICAS

Son fibras sintéticas formadas por polímeros de alta cristalinidad, constituídos por un 85% en peso de unidades de **etileno**, **propileno** u otras unidades **olefinicas** como mínimo. Las **polietilénicas (PE)** y las **polipropilénicas (PP)** son las más conocidas.



Los monómeros **etileno** y **propileno** son gases que se obtienen por "cracking" de petróleo y también del gas natural. El **etileno** se polimeriza a altas presiones (*1000 atmósferas*) y altas temperaturas, en presencia de oxígeno, para producir **PE de baja densidad** (*0,92 g/cm³ y PF 105°C*). Este polímero, sintetizado por primera vez en 1933, en Inglaterra, si bien muy útil para producir films y envases, no es adecuado como filamento textil. En 1953, en Alemania, utilizando catalizadores organo-metálicos se obtuvo un **PE de alta densidad** (*0,95 g/cm³ y PF 135°C*), con lo que se evitó el uso de equipos de alta presión y sí se pudo producir filamentos de aplicación textil. Por otra parte en 1954 en Italia, a partir del **propileno**, con un procedimiento similar, se obtuvo el **PP** (*0,90 g/cm³ y PF 165°C*). El **PP** presenta forma **isotáctica** - es decir con todos los grupos **metilo** orientados hacia el mismo lado de la cadena principal - y por tanto también una alta cristalinidad, lo que le confiere propiedades muy aptas para que con él se produzcan filamentos textiles. Su tenacidad es de 70-80 cN / tex con una elongación del 15%, cercanas estas propiedades a las de la poliamida y el poliéster con la ventaja de ser el **PP** más barato que estos. Si bien el **PE** y el **PP** son relativamente baratos, **son hidrófobos**, lo que hace que no se

puedan teñir con colorantes hidrosolubles. El **PP** se puede teñir con algunos colorantes dispersos pero se obtienen colores muy débiles. Se han intentado también modificaciones de su estructura para conferirle cierta afinidad por los colorantes ácidos y básicos. Pero, por el momento, el procedimiento más adecuado es la **coloración en masa**. Esta consiste en el agregado de **pigmentos en polvo** al polímero fundido, previo a formar el filamento en el “spinirette”. Los pigmentos deben ser adecuadamente seleccionados para resistir todas las etapas subsiguientes del proceso, su tamaño de partícula debe controlarse estrictamente para evitar obstrucciones en el “spinirette” y el mezclado debe hacerse cuidadosamente para evitar la formación, en el filamento, de zonas de mezclados irregulares y más débiles.

Las fibras de **PP** por ser hidrófobas (“regain” *cero en condiciones standard*) presentan “**efecto mecha**”, es decir transportan la humedad de un extremo al otro sin retenerla. Por esa razón se emplean, en la confección de **pañales**, para la tela que está en contacto con la piel, de manera de transportar rápidamente la humedad al relleno absorbente y mantener la piel siempre seca. Por sus propiedades mecánicas y su poca reactividad química, las fibras olefinicas se usan también mucho en **geotextiles**, en trabajos de ingeniería civil, para afirmar y evitar desplazamientos de tierra y otros materiales. Otro uso muy importante de estas fibras es la elaboración de tela para **bolsas** para granos, productos químicos y otros materiales. Como la producción de filamento de polietileno y polipropileno estaba inicialmente protegida por patentes, los fabricantes de bolsas optaron por adquirir film que luego cortaban en cintas. Esas cintas (*planas o retorcidas*) se tejen generalmente en telares sin lanzadera de 3 metros de ancho y luego con esa tela se confeccionan las bolsas. Estas bolsas plásticas, o de “plastillera”, desplazaron casi completamente a las de yute de Bangladesh y, como consecuencia, se produjo en ese país una crisis económica y social muy grave.

La elaboración de **alfombras** y “**moquettes**” con **filamentos de PP** es otra aplicación importante. Para esto el **PP** es ideal por: **1)** ser liviano; **2)** tener una alta resistencia a la tracción y a la abrasión, **3)** tener una alta resistencia a los productos químicos y a los micro organismos; **4)** ser hidrófobo, fácil de lavar y secar; **4)** no generar, o generar muy poca, carga estática; **5)** tener una alta resistencia a la luz y a la intemperie. La **fibra cortada de PP** (“*staple*”) es utilizada para reforzar papeles especiales y, sobre todo, en la producción de “*telas no tejidas*” para la elaboración de artículos descartables de uso médico. La relativa resistencia del **PP** a las temperaturas de esterilización en autoclave, su baja tendencia a cargarse con cargas electrostáticas, su inercia química y sus propiedades no alergénicas, lo hacen ideal para elaborar campos quirúrgicos y túnicas de cirujano.

El **PP** tiene poca resistencia a la radiación ultravioleta (*UV*). Por tanto, su baja resistencia a la intemperie debe mejorarse adicionando, al material fundido, antioxidantes protectores de la radiación *UV* o pigmentos, como el negro de humo, con gran poder absorbente de la radiación *UV*. El **PP** es sensible a los solventes clorados por lo que no se aconseja su uso para prendas que deben ir a la “*limpieza en seco*”.

El **PE** de baja densidad, por su menor punto de fusión, no lo hace aconsejable a temperaturas mayores a los 50°C y por tanto, tiene menos aplicaciones que el **PP**. Por ser un material muy inerte, se utiliza de todas maneras, para hacer **monofilamentos** de aproximadamente 130 micrones de diámetro aparente o más. Estos filamentos se usan para elaborar **cordeles** y **cables** que deben usarse con precaución, pues si son sometidos a fricción intensa, el consiguiente desarrollo de calor, puede cortarlos. Se usan también para elaborar telas para sillas playeras, redes para uso deportivo, etc.

En 1980, se desarrollaron nuevos **PE de alta densidad** y de **ultra alto peso molecular** utilizados para producir fibras y filamentos de alta performance (*ver más abajo*).

BIBLIOGRAFÍA

1- "Polyolefin Textiles", J.Ford, *Textiles Magazine*, 3, 1995

16.5.0- POLIURETÁNICAS

Son fibras constituidas por un polímero que debe contener no menos del 85% de grupos poliuretano (-- **NHCOO** --) en su estructura. Poseen propiedades elásticas similares al caucho. Se conocen también con los nombres genéricos de fibras elastómeras o "spandex". Las fibras poliuretánicas se tiñen con relativa facilidad con colorantes ácidos pero también con algunos colorantes básicos y dispersos. La "**Lycra**" es la fibra elastómera que DuPont comenzó a producir en 1963. Es un copolímero con segmentos "blandos" (*glicol*) y "rígidos" (*diisocianato*). Se obtiene por disolución en solventes adecuados, pasando esa solución por "spinnettes", evaporando y recuperando el solvente ("*wet spinning*"). Se produce con un estiraje controlado y presenta grandes ventajas frente a las gomas naturales ya que es más estable, más fuerte y se puede teñir. Puede ser estirada repetidas veces hasta un 600% de su longitud original, sin que se produzca deformación permanente. Las telas tejidas con poliuretano son suaves, livianas y resistentes a la abrasión. Estrictamente no es una fibra textil convencional sino un "soporte" y se usa siempre mezclada con otras fibras. Las mezclas más comunes son con algodón, lana, lino, seda, acetato y viscosa. En algunos casos un monofilamento de poliuretano se recubre de algunas de estas fibras con lo que se obtienen hilados con propiedades especiales. En el mercado se encuentran hilados mono y multi filamento con títulos que van de los 7 a 400 deniers o más.

Con los hilados de poliuretano se pueden tejer tanto tejidos de punto (*por urdimbre o por trama*) para mallas de baño, prendas deportivas, medias, etc. así como telas planas bi-elásticas (*con fibra poliuretánica en urdimbre y trama*). La elasticidad de la tela resultante es, en gran medida, función de la tensión con que se alimenta el hilado a la máquina de tejer. P.ej. si la alimentación del hilado es lenta, se obtiene una tela más apretada. Las prendas deben ser lavadas con agua tibia no usando hipoclorito de sodio pues este producto ataca al poliuretano. Si es necesario las prendas se pueden blanquear con perborato de sodio. Se deben planchar a baja temperatura. Se debe ser cuidadoso con las temperaturas de teñido pues pueden haber contracciones. Por esto, muchas veces, se recomienda termofijar la tela (*entre 180-185°C*) antes de teñir.

BIBLIOGRAFÍA

Folleto comerciales de la firma DuPont

TABLA 2.43 - OTRAS FIBRAS SINTÉTICAS

FIBRA	MONÓMERO	USOS Y PROPIEDADES
VINYON <i>Cloruro de polivinilo</i>	50% mínimo de cloruro de vinilo	Como termoadhesivas en no tejidos
VINAL <i>Alcohol polivinílico</i>	85% mínimo de alcohol vinílico	Diversos usos industriales
PLA <i>Poliláctica</i>	85% mínimo de esteres del ácido láctico	Prendas deportivas, alta resistencia a UV, baja inflamabilidad
PEN <i>Polietilen naftolato</i>	Un tipo especial de poliester	Excepcional estabilidad dimensional
NYTRIL	85% mínimo de vinilideno dinitrilo	Mezclas con lana, pieles artificiales
ANIDEX	50% de ester de alcoholesmonohídricos y ácido acrílico	Telas elásticas con resistencia a la limpieza en seco. Prendas deportivas.

TABLA 2.44
COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE TELAS HECHAS CON
ALGUNAS FIBRAS NATURALES, ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

	AL	LI	LA	SE	DAC	TAC	V	PA	PE	MAC	PO (4)
BRILLO O LUSTRE	bajo	bajo	bajo	alto	alto	alto	bajo a alto	alto	medio	bajo	bajo
MANO	suave	fresca	cálida	suave	suave	suave	suave	suave	seca	suave	fría
CAÍDA	buena	buena	buena	buena	buena	buena	buena	buena	rígida	buena	mala
ABSORCIÓN DE AGUA líq.	alta	alta	baja	media	media	media	alta	baja	baja	baja	baja
ABSORCIÓN DE AGUA vap.	alta	alta	alta	media	media	media	alta	baja	baja	baja	baja
FÁCIL DE ENSUCIAR	si	si	no	no	no	no	si	no	no	no	no
FÁCIL DE LAVAR	si	si	no	no	si	si	si	si	si	si	si
FÁCIL DE TEÑIR	si	si	si	no	si	no	si	si	no	si	no
FÁCIL DE SECAR	no	no	no	regular	si	si	no	si	si	si	si
FÁCIL DE LIMPIAR EN SECO	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si
RESISTENCIA AL ENCOGIMIENTO	baja	baja	baja	buena	buena	buena	media	alta	alta	alta	alta
TEMPERATURA DE PLANCHADO en °C	220	230	150	150	75	240	185	180	165	170	70
RESISTENCIA AL ARRUGADO	baja	baja	buena	buena	mala	media	mala	buena	buena	buena	buena
TENACIDAD en seco <i>valores relativos (en mN por tex ver pág.106)</i>	6	8	3	8	2	3	4	10	7-8	6	8
TENACIDAD en húmedo <i>valores relativos</i>	9	10	5	8	4	5	6	9	8	7	9
RESISTENCIA AL ALARGAMIENTO en seco, valores relativos	9	10	7	8	7	7	8	6	6	6	8
RESISTENCIA AL ALARGAMIENTO en húmedo, valores relativos	9	10	5	6	6	6	7	5	6	5	8
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN en seco, valores relativos	5	7	6	4	2	3	3	10	8	6	9
RESIST. A LA ELECTR. ESTÁTICA	buena	buena	buena	buena	buena	buena	buena	media	media	baja	alta
RESIST. A LA RADIACIÓN UV <i>valores relativos</i>	7	8	2	1	4	5	6	2	9	10	3
RESISTENCIA A LOS ÁCIDOS	mala	mala	buena	baja	baja	media	mala	baja	buena	buena	buena
RESISTENCIA A LOS ÁLCALIS	buena	buena	mala	mala	mala	mala	mala	buena	baja	baja	buena
RESISTENCIA A LOS HONGOS	mala	mala	baja	media	buena	buena	mala	buena	buena	buena	buena
RESISTENCIA A LA POLILLA	buena	buena	mala	media	buena	buena	buena	buena	buena	buena	buena

- (1) Se supone telas con igual estructura: igual ligamento, igual peso, igual cantidad de hilos por cm, igual intensidad y cantidad de torsión en los hilos, igual finura y sección de las fibras, etc.
- (2) Los valores y las notas estimadas para las fibras químicas son solo orientativas pues, para un mismo tipo de naturaleza química, pueden haber grandes variaciones de estructura, peso molecular y por tanto de propiedades.
- (3) NOTAS: 1 mala, 10 muy buena
- (4) **AL** algodón, **LA** lana, **LI** lino, **SE** seda, **DAC** rayón diacetato, **TAC** rayón triacetato, **V** rayón viscosa, **PA** poliamida, **PES** poliéster, **MAC** modacrílica, **PO** poliolefinicas



Figura 2.142

Las medias de dama de Nylon 6.6 habían aparecido un poco antes del comienzo de la 2da. Guerra Mundial causando sensación por su aspecto y duración. Comenzada la guerra, el Nylon pasó a ser un material estratégico pues sustituyó a la seda en la producción de paracaídas. Por tanto, las medias hechas de este material desaparecieron del mercado y solo se podían obtener a precios exorbitantes. Una vez terminado el conflicto aparecieron nuevamente a precios muy reducidos y se produjo una enorme demanda por ellas en todo el mundo.

BIBLIOGRAFÍA:

- 1-“Kevlar. From Laboratory to Marketplace Through Innovation”,D.Tanner, J.A.Fitzgerald, B.R.Phillips, DuPont Company Advanced Materials Conference, October 25, 1988.
- 2-“More Competitive Premium Products”, P. Lennox-Kerr, Textile Horizons, July 1989.
- 3-“High –performance Fibres”, SK. Mukhopadhyay, Textile Progress, Vol 25, N°3/4, 1993
- 4-“New Fibers”, T. Hongu, G.O.Phillips, , Woodhead Publ. Ltd., England, 1997
- 5-“High Performance Fibres”, Ed. J.W.S.Hearle, UMIST, Woodhead Publ. Ltd., England, 2001
- 6-“New Millenium Fibers”, T.Hongu and G.O.Phillips, Woodhead Publ. Ltd., England, 2001
- 7-“Synthetic Fibres”,Ed. By J.E.Mcintyre, Woodhead Publ. Ltd., England, 2001, sales@woodhead-publishing.com
- 8- <[http:// www.fibersource.com](http://www.fibersource.com)>

17.0.0- FIBRAS SINTÉTICAS DE ALTAS PRESTACIONES

Bajo esta denominación - o también como “de alta performance” - se agrupan fibras con propiedades excepcionales, como muy altas resistencias mecánicas, al calor y a los productos químicos, adecuadas para aplicaciones tecnológicas muy especiales. La **fibra de vidrio** es el antecedente más antiguo de este tipo de fibras pues se utiliza desde 1930. Debido a su relativa falta de flexibilidad la fibra de vidrio (“*fiberglass*” o “*lana de vidrio*”) no tiene muchas aplicaciones textiles y se emplea principalmente en la elaboración de plásticos reforzados como material de construcción o aislante. Las fibras de altas prestaciones se pueden dividir en dos grandes subgrupos: **a) de alta tenacidad y módulo** y, **b) de alta resistencia química y al fuego**.

17.1.0- FIBRAS DE ALTA TENACIDAD Y MÓDULO

17.1.1- Fibras de Carbono

Las primeras fibras de **carbono** fueron producidas por oxidación y pirólisis controlada de filamentos de **poliacrilonitrilo (PAN)**. Cuando estos filamentos de PAN se calientan en condiciones adecuadas, los elementos no carbonosos son eliminados y las cadenas poliméricas residuales se unen entre ellas para formar filamentos con un contenido de carbono de 93 a 95 %. Estos filamentos pueden mejorarse por tratamientos térmicos posteriores: **a)** si se calientan a 1500-2000°C, proceso conocido como “**carbonización**”, alcanzan tenacidades del orden de los 5,650 MPa ó 5,650 N/mm² y, **b)** si se calientan de 2500 a 3000°C, proceso que se conoce como “**grafitación**”, se obtienen filamentos con módulos de elasticidad muy altos, del orden de los 531 GPa ó 531 KN/mm². A partir de filamentos de **rayón viscosa** y **alquitranes purificados** se obtienen también filamentos de carbono, si bien de menor calidad.

En el **grafito** los átomos de carbono están dispuestos en hexágonos, ubicados en planos superpuestos, de manera paralela y ordenada. A pesar de que esta estructura es altamente cristalina, el grafito es relativamente blando y quebradizo pues estos planos están unidos por enlaces químicos relativamente débiles que permiten que entre ellos tengan un cierto desplazamiento. Las **fibras de carbono**, en cambio, tienen una estructura parcialmente amorfa pues los planos están plegados y enredados, de manera desordenada y al azar, impidiendo que se deslicen entre ellos lo que confiere al material una gran resistencia mecánica.

Las fibras de carbono poseen un **peso específico** de aproximadamente 1,75 g/cm³ tienen una alta conductividad térmica y eléctrica. Sus **módulos de elasticidad** varían entre los 300 a 800 GPa y sus **tenacidades** de 2,5 a 7,0 GPa. Las **extensiones a la rotura** van de 0,7% para las de más alto módulo, a 2% para las de módulo más bajo. Sometidos a altas temperaturas los filamentos tienden a encogerse, acortándose y aumentando el diámetro de la sección. Un filamento puede tener un diámetro de 5-8 µm y pueden haber varios cientos de ellos en un hilado multifilamento. Son de color negro brillante pero recientemente se han desarrollado filamentos coloreados.

Se usan en diversos artículos de aplicación técnica por su gran resistencia mecánica, dieléctrica y química. Se ofrece en el mercado como filamentos continuos pero también como fibra cortada. Las fibras de carbono se venden también en **mantas** y **cintas** unidireccionales, a veces mezcladas con fibra de vidrio y/o aramídicas, para el refuerzo de vigas, pilares, columnas, paredes y estructuras de geometría compleja o antisísmica. Como **filamento** les utiliza para formar electrodos multifilamentos, de gran superficie, alta conductividad y muy buena resistencia química. Como **fibra cortada** se les mezcla con diversas resinas (como p.ej. *epoxi*) obteniéndose plásticos reforzados (“*composites*”) de excelentes propiedades, que se utilizan para producir una gran diversidad de artículos para los que requiere **gran resistencia mecánica con bajo peso**,

como paletas de molinos de viento, artículos deportivos como bicicletas, coches de carrera, skates, cascos, tablas de surf, palos de golf, canoas, etc. También se les utiliza para partes de instrumentos musicales como arcos de violín y otras. Con apropiados tratamientos superficiales, se mezclan las fibras con aluminio y con grafito, obteniéndose materiales con grandes resistencias térmicas y mecánicas. Como aplicación textil podemos señalar la producción de telas para filtración de gases corrosivos a altas temperaturas y la confección de prendas con propiedades antiestáticas (como p.ej. túnicas de cirujano). “Torayca” de Toray y Pyrofil de Mitsubishi son algunas de las marcas de fibras al carbono más conocidas.

17.1.2- Fibras para-aramídicas

Las fibras **para-aramídicas** son poliamídicas derivadas de ácidos aromáticos y aminas (de ahí su nombre de “aramídicas” y podría considerarse como un “nylon” o poliamida aromática). La estabilidad del anillo aromático y la resistencia adicional que agregan los enlaces amídicos en conjugación con los anillos aromáticos, la linealidad de la cadena polimérica debido a los enlaces en posición **para**, sumado a que los filamentos se obtienen por extrusión de soluciones del polímero con características de **crystal líquido**, hace que los filamentos tengan una **extraordinaria orientación** y, por tanto, excelente resistencia mecánica y térmica. Sus módulos de elasticidad varían de 170 a 220 GPa. Las fibras aramídicas, tanto las **para** como las **meta**, poseen una excelente resistencia al fuego, pero solo se usan las **para-aramídicas** cuando también son necesarias extremas resistencias mecánicas

El **Kevlar** de Du Pont y **Twaron** de Enka (basadas en **para-fenilene terftalamida, PPT**) son las marcas más representativas de las fibras **para-aramídicas**. Hay varios tipos de **Kevlar**: el **29**, el **49**, el **149** y el **981**, pero el **29** y el **49** son los más utilizados. El **Kevlar 29** se usa para la fabricación de cables, esquíes, raquetas de tenis, palos de golf, llantas radiales para coches y camiones, en sustitución del asbesto en cintas para frenos y de las varillas de hierro para reforzar concreto, prendas deportivas, circuitos impresos, ropa de protección como chalecos antibalas. Las fibras de **Kevlar 49** se emplean, impregnadas en resinas sintéticas, para producir “composites”.

La **Technora** es otra fibra para-aramídica desarrollada independientemente en 1987 por la firma japonesa **Teijin** que se obtiene a partir de una solución isotrópica de un **copolímero de poli-(p-fenilentereftalamida) con poli-(3,4'-oxidifenilen tereftalamida)**. Esta fibra tiene propiedades superiores a las del Kevlar 29. Es de alta tenacidad, alto módulo de elasticidad y excelentes resistencias químicas y al calor. La tenacidad es de 28g/denier (24.7cN/dtex, 350kg/mm²), lo que significa que un filamento de Technora es 8 veces más fuerte que un filamento de acero del mismo título. **Technora** tiene también una excelente resistencia a la fatiga por flexión y tracción, en comparación a otras fibras de alta tenacidad. Tiene una excelente estabilidad dimensional con muy bajo encogimiento cuando es expuesta al calor. Tiene una temperatura de descomposición de 500°C y puede ser expuesta a 200°C durante largos periodos de tiempo con una disminución en su tenacidad menor al 50%. Es muy resistente a los ácidos, a los álcalis, a algunos solventes orgánicos y al agua de mar. Por todas estas excelentes características, **Technora** se usa para reforzar caucho, plásticos y cemento. Se utiliza también para producir cordeles, prendas protectivas y en muchas otras aplicaciones industriales.

17.1.3- Fibras de Poliésteres Aromáticos

El **Vectran** (desarrollado por Celanese Acetate LLC en la década de 1990 y actualmente fabricado por Kuraray Co., Ltd.), el **Victrex SRP** de ICI y el **Ekonol** de Sumitomo son **poliésteres aromáticos**. Algunos de los monómeros utilizados para producir estos polímeros son derivados del **4,4'-dihidroxi-bifenilo** y de los ácidos **p-hidroxibenzoico, tereftálico e isoftálico**.

Estos polímeros al estado fundido presentan las características de un **crystal líquido**¹ y los filamentos que se obtienen por fusión y extrusión a través de una filera, con altas relaciones de estiramiento y a temperaturas adecuadas, tienen estructuras moleculares de muy alto orden y orientación. Por tanto, estos filamentos también tienen muy alta tenacidad, alto módulo de elasticidad, alta resistencia a la abrasión y bajo “creep”. Sus módulos llegan hasta los 140 GPa y sus tenacidades son del orden de los 4 GPa, mucho mayores que para un filamento de acero del mismo título. Funden entre 240 y 400°C. Tienen también excelentes estabilidades térmicas y químicas y alta resistencia a la radiación UV.

El **Vectran** se usa para la elaboración de cordeles, cables, plásticos reforzados (“*composites*”), cámaras de bicicletas de carrera, palos de golf, en aplicaciones electrónicas y otras de altas performance. Por ejemplo, fue utilizado en la confección de las bolsas inflables que amortiguaron el descenso del vehículo “*Pathfinder*” sobre la superficie del planeta Marte.

17.1.4- Fibras de Polietilenos de Alto Peso Molecular

Otro grupo interesante es el formado por **polietilenos de muy altos pesos moleculares** (2.0 a 6.0×10^6) **con altos módulos y tenacidades** (**UHMWPE** por “*ultra high molecular weight polyethylene*”), o **HMPE** por “*high modulus polyethylene*”, o **HPPE** “*high perfonce polietileno*”). Estos polímeros termoplásticos de cadenas de gran longitud, por ser de tan alto peso molecular, poseen temperaturas de fusión inconvenientes para producir filamentos por fusión. Por tanto deben disolverse parcialmente - a concentraciones muy bajas (no más de 1-2 %) y a alta temperatura - en solventes como la **decalina**. para formar **geles**, de viscosidad adecuada como para ser hilados. El gel es extruido dentro de agua fría para obtener los filamentos. Estos son luego estirados a muy altas relaciones de estiraje, aproximadamente de 20 a 70, y luego se les calienta para eliminar el solvente. Se obtienen filamentos con una muy alta, casi perfecta, orientación molecular lo que les confiere propiedades mecánicas sobresalientes - *con tenacidades cercanas a los 300 cN / tex* - superiores a las del **Kevlar** y las **fibras de carbono**. Para muchas aplicaciones, los **HMPE** son superiores a estas fibras debido a su bajo peso específico, pero presentan el inconveniente de su relativamente baja temperatura de ablandamiento (*alrededor de 140°C*) y su muy alto precio. El material flota en el agua y tiene una gran resistencia a la humedad, a los productos químicos corrosivos (*salvo a los ácidos oxidantes*) y a la radiación ultravioleta. Tiene bajo coeficiente de fricción (*similar al Teflón*) y gran resistencia a la abrasión y al impacto. Se utilizan para elaborar chalecos de protección antibalas, guantes de seguridad y prendas para trabajar con máquinas de corte. Se utilizan también para cordelería y velas marineras, skis, raquetas de tenis, palos de hockey y otros usos de alta tecnología. Es también un material de elección en medicina, para implantes ortopédicos. Algunas de las marcas comerciales son Dyneema (*DSM, Holanda*) y Tekmilon (*Mitsui, Japón*).

17.1.5- Fibras Inorgánicas

Las fibras **inorgánicas** son también un grupo muy importante. Además de las fibras de vidrio, conocidas desde bastante tiempo atrás, actualmente existen fibras de **alúmina** como la **Saffil** de *ICI*, las fibras de **alúminosilicato** ofrecidas por varios fabricantes y las **fibras cerámicas** de alta

¹ Los **crystal líquidos** son sustancias que, al fundir y pasar al estado líquido, sus moléculas (*generalmente grandes y de formas cilíndricas o de disco*) mantienen, durante un determinado rango de temperaturas, gran parte de la estructura cristalina (*es decir, el orden y la orientación*) que poseían en su estado sólido. Constituyen así un estado intermedio o mesomérico entre el estado sólido y el estado líquido. Esta propiedad pueden también presentarla algunos polímeros termoplásticos que poseyendo zonas cristalinas en el estado sólido, las siguen manteniendo después de fundir (“*liquid crystal polymers*” o *LCP*). Cuando se producen filamentos con estos polímeros fundidos, estos filamentos tienen una gran orientación molecular y por tanto grandes resistencias a la tracción y altos módulos de elasticidad.

resistencia a la temperatura y altos módulos (*del orden de los 380 GPa*). Sus características más destacadas son su alta resistencia a la temperatura y sus muy altas tenacidades. Como inconvenientes se debe señalar que pueden ser quebradizas a la flexión y al impacto especialmente cuando presentan algunas zonas irregulares en su composición. Se usan como relleno en algunos artículos textiles hechos de capas múltiples, a los que confieren resistencia a la abrasión y a la compresión estableciendo a la vez una barrera aislante térmica e ignífuga. Se utilizan también en “*composites*” - *mezcladas con resinas sintéticas como p.ej. las epoxi o metales como el aluminio* - para hacer paneles de revestimiento y partes de máquinas con extraordinarias resistencias mecánicas. Otras marcas de fibras cerámicas que se encuentran en el mercado son “*Tiranno (SiTiCO)* de Ube Industries y la “*Nicalon*”(SiC) de Nipón Caron,

17.2.0- FIBRAS DE ALTA RESISTENCIA QUÍMICA Y A LA COMBUSTIÓN.

17.2.1- Fibras meta-aramídicas

Todas las fibras aramídicas son resistentes al fuego, pero para aplicaciones para las que no se requieren extremas resistencias mecánicas, se utilizan las fibras **meta-aramídicas**, obtenidas por primera vez a partir de *metafenilene isoftalamide* en el año 1970. Las marcas más conocidas en el mercado son la **Nomex** de *Du Pont* (1962) y la **Conex** de *Teijin* (1972). La tenacidad de estas fibras se aproxima a 0,35 – 0,5 N/tex con extensiones a la rotura de aproximadamente 35% y módulos de elasticidad iniciales de 7-10 N/tex. La característica principal es, sin embargo, su gran resistencia a la combustión ya que poseen un **índice de oxígeno límite (IOL)**² cercano a 0,29 (*similar al de la lana*). Estas fibras tienen una temperatura de ignición por encima de 600°C a la que llegan sin fundir. Las vestimenta confeccionada con estas fibras (*como las de bomberos corredores de autos de carrera, etc.*), en contacto con la llama, protege a las prendas que están por debajo y, como se carboniza gradualmente, da tiempo a la persona a ponerse a salvo. Las fibras **meta-aramídicas** tienen también una buena resistencia eléctrica. Como inconveniente cabe señalar que el material es **fotodegradable** y por tanto no apto para estar expuesto permanentemente a la intemperie. El **Nomex** también se vende como láminas tipo papel para recubrimiento aislante de cables eléctricos, placas de circuitos, núcleos de transformadores, etc.

17.2.2- Otras fibras

Un gran paso adelante en la obtención de fibras ignífugas se logró con el desarrollo del **PBI (polibenzimidazol)** de *Hoechst-Celanese*. Su **LOI** es de 0,41, bastante por encima del **LOI** de las meta-aramídicas. Tiene también una gran resistencia química y se le utiliza, p.ej., en telas para filtrar gases corrosivos a alta temperatura. En contacto con la llama presenta algo de encogimiento (5-10%). Es una fibra de muy alto precio por lo que se le utiliza en aplicaciones tecnológicas especiales que justifican el gasto.

Las fibras a base de **polimidas** son también de gran resistencia térmica como la **Lenzing P 84** de *Lenzing* con un **LOI** de 0,37. Se ofrece tanto como filamento o fibra cortada y se utiliza en una variedad de aplicaciones industriales por su resistencia química y térmica así como en vestimentas resistentes al fuego. La fibra **Inidex** de *Courtaulds* es un **copolímero de ácido acrílico y acrilamida** en una relación molecular 2:1 que durante la hilatura se convierte en una

² El **IOL** es el porcentaje mínimo de oxígeno presente en una atmósfera capaz de mantener la combustión de una dada fibra. Como la atmósfera terrestre contiene aproximadamente un 21 % de oxígeno, aquellas fibras que tengan un **IOL** menor a 21 mantendrán la combustión luego de encendidas. Cuanto más alto el **IOL** de una fibra más resistente a la llama será. Debemos tener en cuenta, sin embargo, que la inflamabilidad de un artículo textil depende también de otros factores como el movimiento del aire, la estructura de la tela, el “regain”, etc. (*ver Cap. II, Sec. 270, Propiedades Térmicas de la Fibras Textiles*)

sal de cinc. Presenta “cross-linking” de enlaces iónicos lo que la hace muy insoluble e infusible. Tiene un **LOI** de 0,43 y como el **PBI** tiene un “regain” similar al del algodón. Cuando esta fibra es puesta en contacto con llama no genera casi humo. Tiene una excelente resistencia a la radiación UV. Debido a su relativa baja tenacidad (0,12 N/tex) se usa preferentemente en “no tejidos” para entretelas ignífugas de tapicería, mantas antifuego, etc.

Las fibras **poliacrílicas oxidadas**, si bien son de color negro y de naturaleza algo similar a las fibras de **carbón**, no son iguales a estas, pues el polímero conserva mucho de la estructura original no carbonosa y no tiene estructura grafitica. Se produce a partir de cable de filamentos poliacrílicos por un proceso de pirólisis oxidativa realizado a temperaturas de aproximadamente 1250°C. Este tipo de fibra poseen un **LOI** muy alto, del orden de 0,55. Se usa en prendas y telas para tapicería resistentes al fuego y una de las marcas conocidas en el mercado es **PANOX**.

Otro grupo interesante es el de los **polímeros aromáticos** como la **polietercetona (PEK)**, el **polisulfuro de parafenileno (Sulfar de Du Pont o PPS de Rytron)**. Químicamente todos estos polímeros contienen **anillos de parafenileno**. Sus puntos de fusión van de 285°C para el **PPS** y de 360°C para el **PEEK**. Sus **LOI** van de 0,34 a y 0,42. Debido a estos valores - especialmente los puntos de fusión que son relativamente bajos - estos polímeros no se emplean para confeccionar textiles que deban ser usados como barreras antifuego. Tienen sin embargo, excelentes resistencias químicas, ya que carecen de grupos funcionales que puedan ser fácilmente hidrolizables, y se utilizan para elaborar telas para filtración de gases y líquidos agresivos para otros materiales textiles.

Hay muchas otras fibras de alta performance recientemente desarrolladas, como el **PBO** (polifenilén benzobisozazol), el **PTFE** (politetrafluoretileno) y más. Recomendamos la consulta de la bibliografía especializada y la búsqueda en internet para mantenerse actualizado en este campo extremadamente interesante y en incesante desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- **“High Performance Fibres”**, edited by J.W.S.Hearle, The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd., England, 2001
- 2- **“New Fibres”**, T.Hongu, G.O. Phillips, Woodhead Publishing Ltd., England, 2001
- 3- **“Handbook of Technical Textiles”**, edited by H.R.Harroock and S.C.Anmand, Woodhead Publishing Ltd., England, 2001
- 4- **“Extreme Textiles”** Matilda McQuaid, Princeton Architectural Press, New York
- 5- **“Techno Textiles”**, Revolutionary Fabrics for Fashion and Design, Sarah E. Braddock Clarke and Marie O’Mahony, Ed. Thames & Hudson, USA.
- 6- **“Eco- Chic, The Fashion Paradox”**, Sandy Black, Black Dog Publishing, London, UK

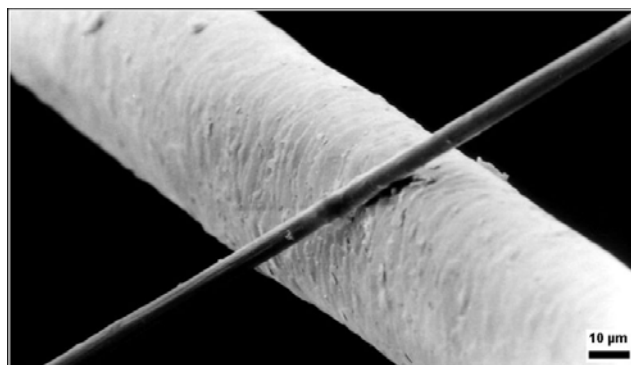


Fig.2.143- **Un filamento de carbono de de 6 μm comparado con un cabello humano**

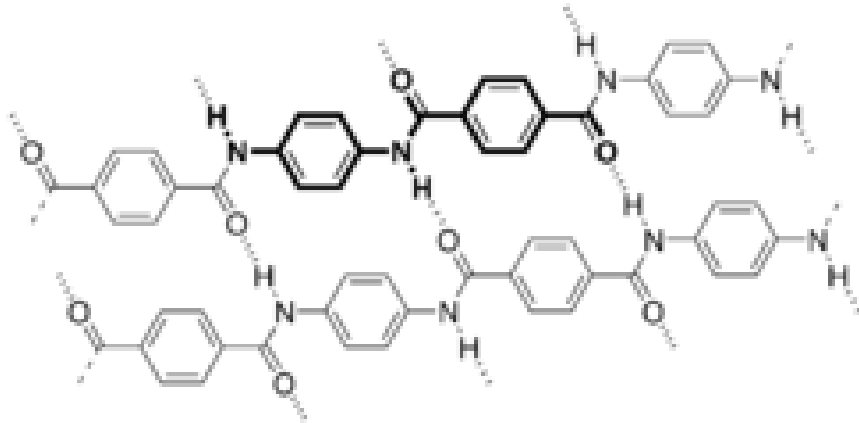


Fig.2.144- **Estructura de una fibra para-aramídica** (p.ej. KEVLAR)
Resaltado: **unidad monomérica**. Punteado: **Puentes de hidrógeno**

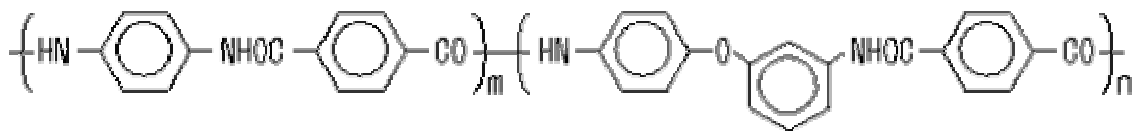


Fig. 2.145- **Copoli -(paraphenylene/ 3,4'-oxydiphenylene terephthalamide)**
para-aramídica, p.ej. TECHNORA

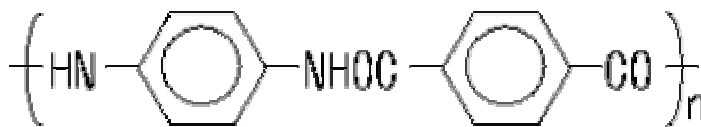


Fig. 2.146 - **Poli - (paraphenylene terephthalamide) (PPTA)**
para-aramídica, p.ej. TWARON

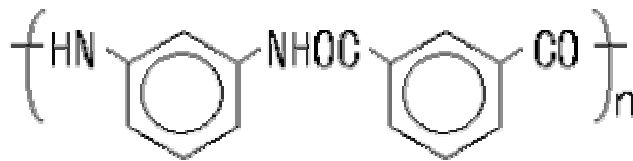


Fig. 2.147 - **Poli - (metaphenylene isophthalamide) (MPIA)**
meta-aramídica, p.ej. TEIJINCONEX

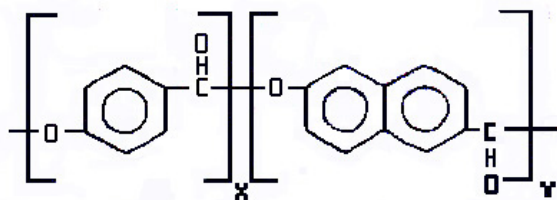


Fig. 2.148 - **Poliéster Aromático (Cristal Líquido Polimérico, LCP)**
p.ej. VECTRAN

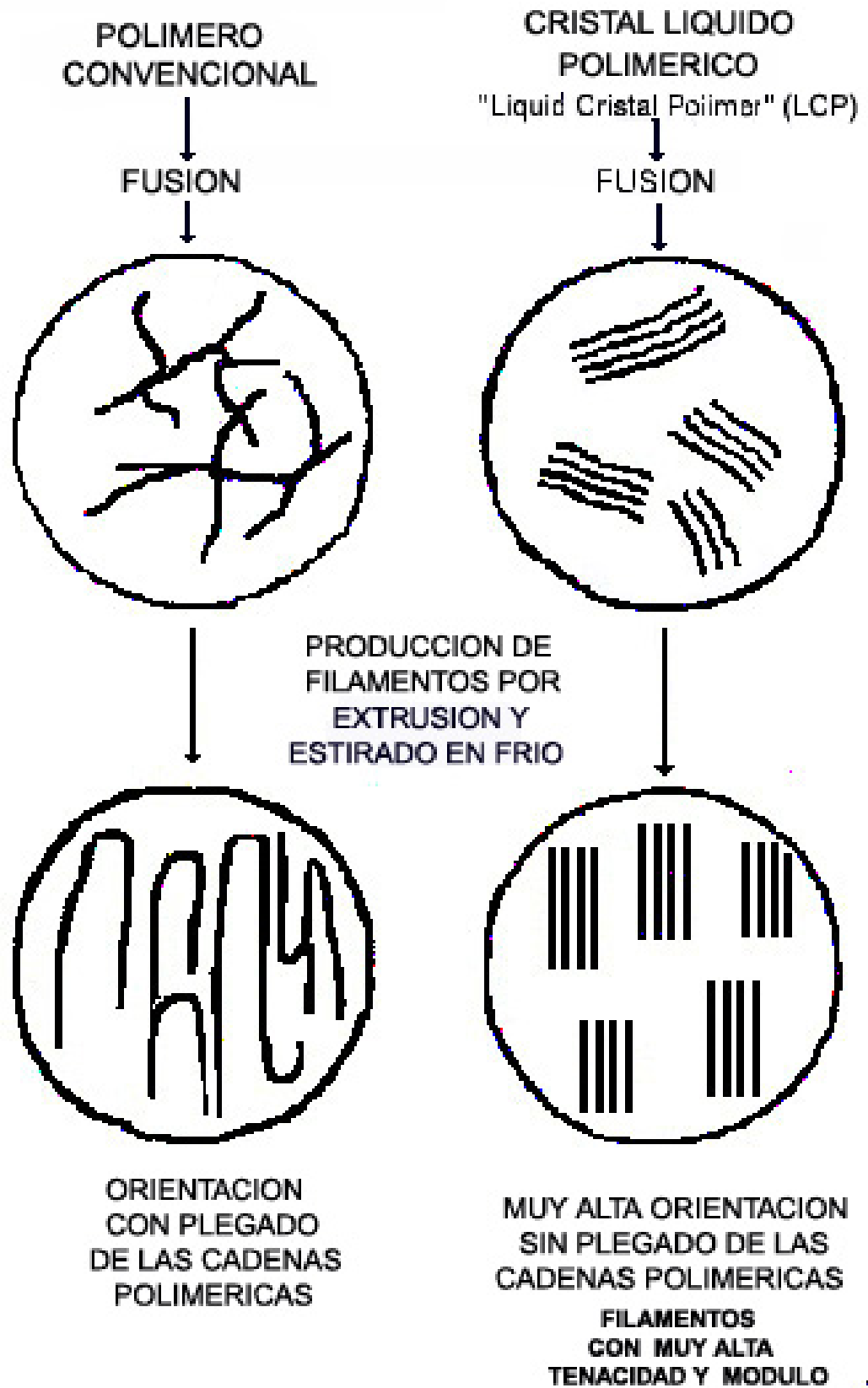


Fig. 2.150 - Producción de filamentos con polímeros de cristal líquido.

TABLA 2.45 - ALGUNAS FIBRAS TEXTILES SINTÉTICAS DE ALTA PERFORMANCE

NOMBRE COMERCIAL	COMPOSICIÓN QUÍMICA	FABRICANTE	Módulo de Elasticidad Inicial (*)	Tenacidad (*)	Elongación a la rotura, %	Índice de Oxígeno Límite (IOL)	Punto de Fusión °C	Punto de Ignición °C
KEVLAR	Poli-(p-fenileno tereftalamida) PPT	Du Pont	hasta 170 G/Pa	hasta 3,5 G/Pa				
TWARON	Poli-(p-fenileno tereftalamida) PPT	Enka	hasta 170 G/Pa	hasta 3,5 G/Pa				
TECHNORA	copolímero del p-fenileno	Teijin	83 GPa	3,4 GPa				
PBT	polibenzo bis tiazol		250 GPa					
TORAYCA	de carbono	Toray	240 - 800 GPa	2,6 - 5,0 GPa	0,3 - 2,0			
PYROFIL	de carbono	Mitshubishi	240 - 800 GPa	2,6 - 5,0 GPa	0,3 - 2,0			
VECTRAN	copoliéster (ver texto)	Hoechst-Celanese	100 GPa	3,5 GPa			280 - 400	
VICTREX SRP	copoliéster (ver texto)	ICI	100 GPa	3,5 GPa			280 - 400	
EKONOL	copoliéster (ver texto)	Sumitomo	140 GPa	4,1 GPa			280 - 400	
HMPE, HDPE	polietilenos de alto PM y densidad		70 - 120 GPa	4,0 GPa			140	
DYNEEMA	polietilenos de alto PM y densidad	DSM	70 - 120 GPa	4,0 GPa			140	
TEKMILON	polietilenos de alto PM y densidad	Mitsui	70 - 120 GPa	4,0 GPa			140	
CERAMICA	de α -alúmina, carburo de silicio, etc.	varios	385 GPa	1,4 GPa		>1500		
NOMEX	metafenileno isoftalamida	Du Pont	7-10 N/ tex	0,35 - 0,50 N/ tex	35	0,29		>600
CONEX	metafenileno isoftalamida	Teijin	7-10 N/ tex	0,35 - 0,50 N/ tex	35	0,29		>600
KERMEL	Poliamida imida	Rhone-Poulenc	7-10 N/ tex	0,35 - 0,50 N/ tex	35	0,31		
PBI	polibenzomidazol	Hoechst-Celanese				0,41		
P84	polimida	Lenzing				0,37		
INIDEX	copolímero acrílico	Courtaulds		0,12 N/ tex		0,43	160-180	
PAN-OX	poliacrítica oxidada					0,55		
VICTREX	poli-(eter etercetona)							
ZYEX, PEEK	poli-(eter etercetona)					0,42		
PEK	Poli-(etercetona)						360	
PPS	poli (p-fenil sulfuro)	Ryton, Fortron				0,34	285	

(*) Pa = N / m² por tanto, un GPa = 10⁹ N / m² = 10³ N / mm² = KN / mm² y, un MPa = N / mm².

Para pasar a valores específicos, como p.ej. N / tex, es necesario conocer el peso específico del material.

17.0.0 - FIBRAS NATURALES vs. FIBRAS QUIMICAS

Información y figuras extractadas de un artículo de Gordon Mackie (Geerdes International) publicado en la revista "Galaxia" (Argentina) y en la revista "Química Textil" (Brasil) de Julio de 2004.

A pesar de que ya se conocían desde algunas décadas atrás, es recién a inicios del siglo XX que las **fibras químicas** comienzan a ser una opción comercial frente a las fibras naturales. A partir de entonces su consumo ha aumentado sin cesar y se estima que, en la primera mitad del siglo XXI, las fibras químicas estarán vinculadas con casi todo el crecimiento probable del mercado textil (Fig. 2.151 y 2.152).

La producción y consumo de **algodón**, fibra conocida desde la Antigüedad (ver Cap.1, "Origen y Evolución de la Tecnología Textil"), aumenta desde su introducción en Europa y alcanza niveles muy importantes a partir de la Revolución Industrial. En 1900 el algodón constituía el 50% de todas las fibras naturales y en el 2000 alcanzó el 75%. Sigue siendo por tanto, la mas importante de todas las fibras naturales (ver Fig. 2.153), una gran fuente de divisas para los países en desarrollo y un rubro de gran importancia en la economía mundial. Durante la década de 1980 el precio del algodón determinaba, en gran medida, el precio de todas las demás fibras (*cortas o cortadas*) pero ya en la década de 1990 el **poliéster** pasa a tener predominio. Actualmente los precios del algodón oscilan entre 1,30 y 1,50 U\$S/kg. Por otra parte, los precios del poliester oscilan alrededor de 1,15 U\$S/kg (si los precios del ácido tereftalico y el etilen glicol son aproximadamente de 6 y 4 U\$S/kg respectivamente)(Fig. 2..154)

El área dedicada al cultivo de algodón, en todo el mundo, se mantuvo en los últimos 50 años en aproximadamente 33 a 34 millones de hectáreas. Actualmente con esa área cultivada la producción total es de aproximadamente 19 a 20 millones de toneladas. Se estima que avances futuros en biotecnología, seguramente permitirán reducir el uso de pesticidas y mejorar los rendimientos. Sin embargo estos avances no alterarían la economía básica del cultivo del algodón. La competencia con otros cultivos alimentarios, los crecientes costos de irrigación, de conservación del medio ambiente y de mano de obra, serán algunas de las dificultades que, en el futuro, encontrará el algodón. Tampoco podemos olvidar las estimaciones que se han hecho sobre productividad que establecen que una persona apenas puede producir unas 2 toneladas/año de fibras naturales mientras que, en cambio, podría producir 22 o más toneladas/año de fibras químicas.

Si bien su producción enfrenta dificultades, el algodón es una fibra que permite elaborar prendas de gran confort y seguirá siendo demandada por aquellos que puedan pagar su precio. Tanto se emplee solo o mezclado con poliester, el algodón tendrá aún por mucho tiempo un gran mercado. Las preguntas que nos podríamos hacer es si, en el futuro, se desarrollarán fibras poliester (*u otras*) que simulen el confort del algodón así como, algodones transgénicos con propiedades de resistencia y de fácil cuidado similares a las del poliester.



Figura 2.151 – Proyección del consumo mundial de fibras textiles

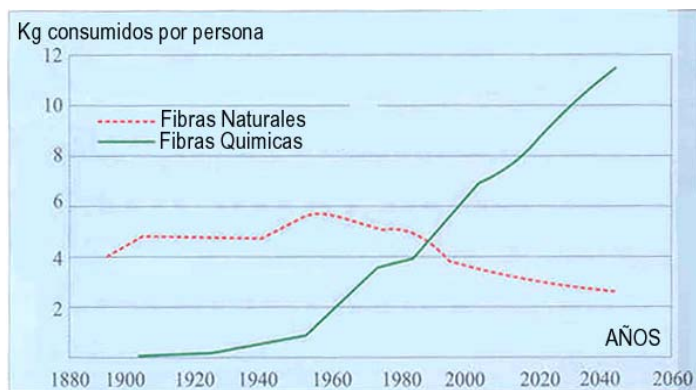


Figura 2.152- Proyección del consumo mundial per cápita de fibras textiles

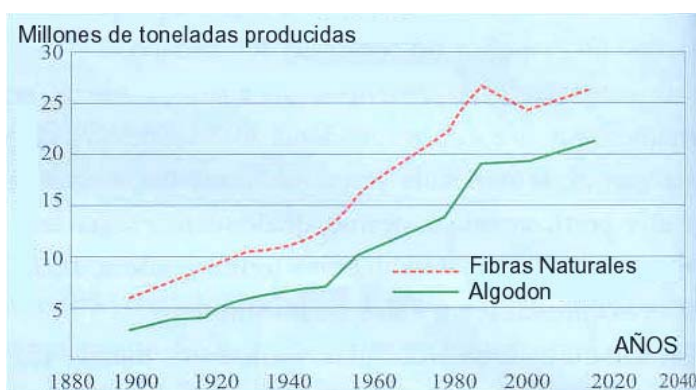


Figura 2.153- Proyección de la producción mundial de fibras textiles naturales

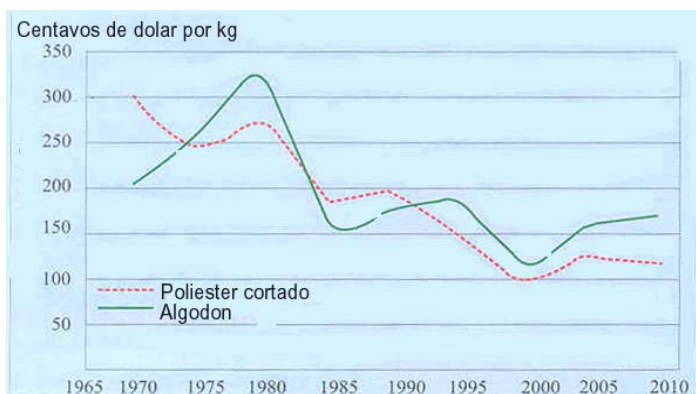


Figura 2.154 - Proyección de la evolución de precios del algodón y el poliéster

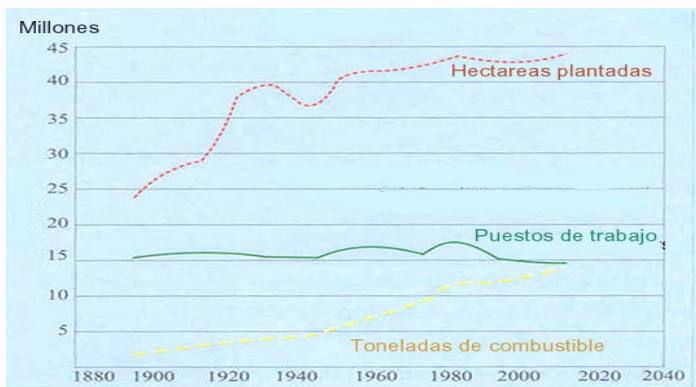


Figura 2.155- Hectáreas plantadas, empleos generados y combustible consumido para la producción de fibras textiles naturales (menos lana)

18.0.0- LA MEZCLA DE ALGODÓN Y POLIÉSTER

18.1.0- ANTECEDENTES

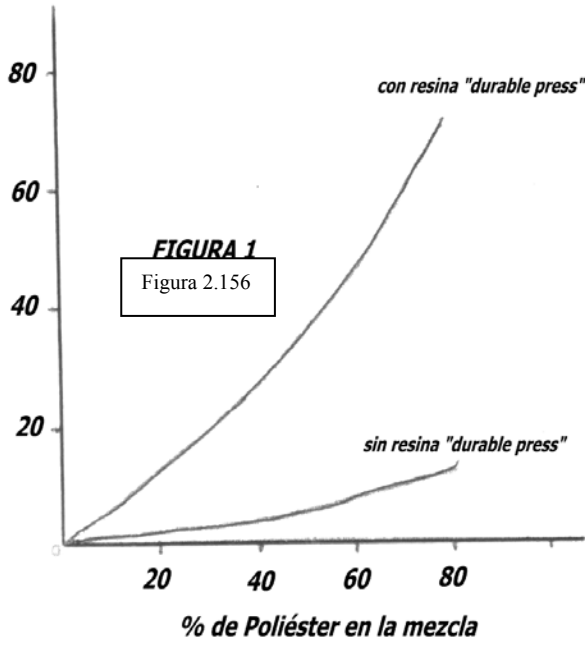
Aproximadamente hasta 1950 el **algodón** era la fibra utilizada tradicionalmente para la elaboración de artículos textiles como camisas, sábanas, manteles, etc. A partir de esa fecha se comienza a utilizar **filamento continuo** de **poliamida** ("nylon") en telas para camisas. Se obtenían así prendas muy atractivas y fáciles de lavar pero de muy **baja absorción de humedad** e **inconfortables**, especialmente en verano. En los hilados producidos por mezcla íntima de algodón y **fibra cortada** ("staple") de **poliamida (PA)**, el algodón acepta la mayor parte de la torsión aplicada en hilatura. La **PA (Nylon 6.6)** en cambio, no acepta tanta torsión, se elonga rápidamente y contribuye menos a la resistencia total a la tracción (Tabla 2.46). Una vez que las fibras de algodón se rompen o se deslizan, la insuficiente torsión de las fibras de **PA** impide que el hilado mantenga una estructura coherente. El resultado es que, desde el punto de vista de su resistencia mecánica, este hilado no presenta ventajas frente a uno similar de algodón puro.

A pesar de que el **poliéster (PES)** es menos resistente a la tracción que la **PA**, su módulo de Young es más parecido al del algodón (Tabla 2.46). Por tanto, en mezcla con algodón, **la fibra cortada** ("staple") de **PES** tendrá un mejor comportamiento que la de **PA**. Esto hizo que la mezcla **algodón / PA** fuera cediendo terreno frente a la de **algodón / PES** que hoy, es la mezcla textil más usada en todo el mundo para la elaboración de **camisas, sábanas, manteles, ropa de trabajo, ropa sport**, etc. Sin embargo, los hilados de **algodón / PA**, de bajo contenido en **PA (20-35%)**, se siguen utilizando, especialmente cuando se desean producir telas con lustre atractivo, buena resistencia a la abrasión y tacto "crujiente", algo similar al de la seda.

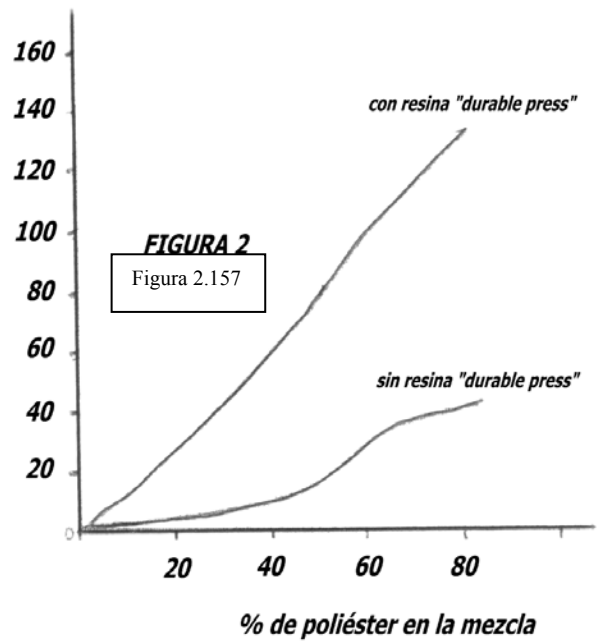
TABLA 2.46 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ALGODÓN Y EL NYLON Condiciones Standard: 20°C, 65% H.R. (valores medios)			
	ALGODON	NYLON 6.6 (fibra cortada)	POLIESTER (fibra cortada)
Tenacidad, g _i /dtex	3.0-5.0	4.5-5.5	3.0-4.0
Extensión a la rotura, %	7.0-8.0	40.0-45.0	35.0-45.0
Módulo de Young Inicial, N/tex	3.5-6.0	1.5-2.5	3.0-3.5

TABLA 2.47 CONSUMO MUNDIAL DE ALGODÓN, PES Y SUS MEZCLAS (1999) (millones de toneladas por año)			
	100 %	para mezcla	total
ALGODÓN (CO)	15	3	18
POLIÉSTER (PES)	6	4	10
CO/PES	-	-	7

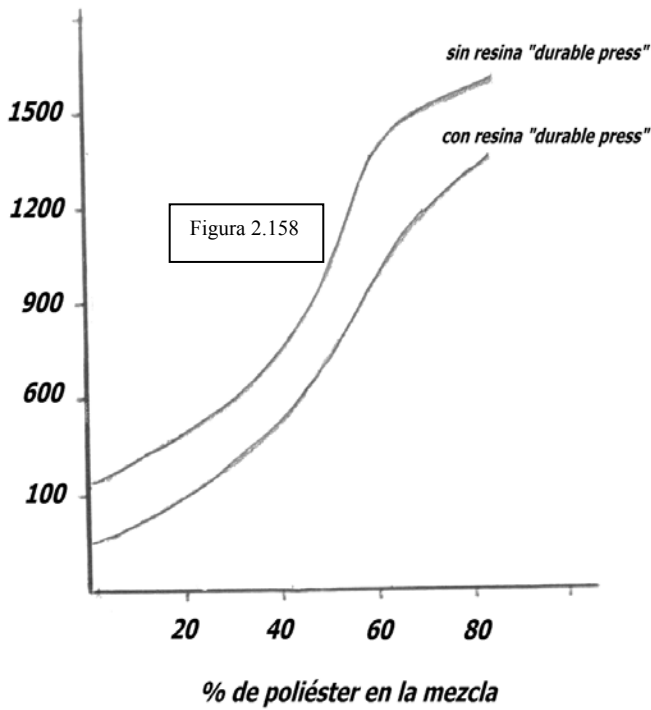
% de aumento de la resistencia a la tracción



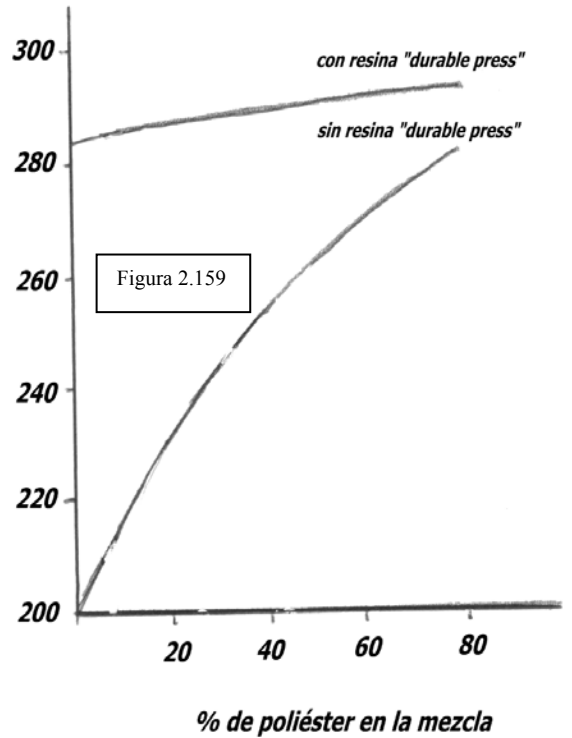
% de aumento de la resistencia al desgarre



Resistencia a la abrasión



Resistencia al arrugado



Figuras 2.156 a 2.159, tomadas del "Textile Magazine" N° 4, 1994

18.2.0- PROPIEDADES MECÁNICAS.

Las Figuras 2.156 a 2.159 muestran, para textiles elaborados con **algodón** y **PES**, la variación de algunas propiedades mecánicas en función de los diferentes contenidos de **PES** de la mezcla. En las Figuras 2.156, 2.157 y 2.158 vemos que la **resistencia a la tracción** de un **hilado**, así como la **resistencia al desgarró** y a la **abrasión** de una **tela**, aumentan sensiblemente cuando el contenido de **PES** supera el 40 % en la mezcla. La Figura 2.159 muestra que la **recuperación al arrugado** también mejora con el contenido de **PES** en la mezcla, siendo el efecto más notable en telas no tratadas con acabados antiarrugas ("*durable press*").

Los test de **recuperación del arrugado**, consisten en arrugar en forma controlada dos muestras de tela, una en sentido de **trama** y otra en sentido de **urdimbre**, para luego medir el **ángulo de recuperación** de los pliegues. En general un ángulo de recuperación de 280° o superior, hace innecesario el planchado posterior al lavado. La Figura 2.159 muestra que, luego de un ciclo de lavado y secado, una tela de mezcla de **PES/CO** con un contenido de **PES** cercano al 70%, tiene un ángulo de recuperación de 280°. Los artículos de algodón puro, en cambio, sólo tiene un ángulo de recuperación de 200° y para ellos el planchado es imprescindible.

En la misma Figura 2.159 se puede apreciar que para **telas de algodón puro**, tratadas con resinas de acabado antiarrugas ("*durable press*"), puede mejorar mucho su ángulo de recuperación. Sin embargo, como se puede apreciar en las Figuras 2.157 y 2.158, este tratamiento no mejora mucho la resistencia al desgarró y a la abrasión de una tela de algodón puro.

Como resultado de esto, la mezcla de algodón y poliéster generalmente más utilizada, es la de **33%** de **algodón** y **67% poliéster**. Si bien el **PES** es algo más caro que el algodón, los tejidos de estructura equivalente, conteniendo mezclas de **PES/CO**, son más livianos y entonces el tejido no resulta más caro. En general la diferencia de pesos específicos entre las dos fibras (**1.50 para el algodón** y **1.38 para el PES**), compensa sus diferencias de precio.

18.3.0- HIGROSCOPICIDAD.

En condiciones húmedas las prendas confeccionadas con telas de mezcla **PES/CO** no son tan confortables como las de algodón puro, pero por otra parte secan mucho más rápido después del lavado.

TABLA 2.48 - HIGROSCOPICIDAD		
FIBRA	REGAIN %	Absorción de agua líquida,%
ALGODÓN	7.0	115
PES/CO 65/35	2.8	70

18.4.0- "PILLING"

Los artículos de algodón puro no tienen mucha tendencia a formar "pilling", salvo telas muy gruesas. En cambio, las telas construidas con mezcla **PES/CO** pueden presentar ese problema, debido sobre todo, al alto módulo y la alta resistencia a la tracción del **PES**, que dificulta el desprendimiento de la "bolita" o "pilling" desde la superficie de la tela. El problema se puede controlar en cierta medida: **1)** aplicando mayor torsión a los hilados, **2)** utilizando tipos especiales de **PES** ("*low pilling PES*") con algo menos de resistencia a la tracción y **3)** aplicando productos especiales de terminación sobre la tela. Estas medidas son especialmente necesarias para aquellos artículos textiles que pueden estar luego sometidos a tratamientos severos de abrasión, como túnicas escolares, ropa de trabajo, etc.

18.5.0- CARGA ESTÁTICA

Las telas hechas con mezclas de **PES/CO** pueden acumular cargas eléctricas estáticas en mayor o en menor medida, según el contenido de **PES** en la mezcla. Por ejemplo, no es recomendable el uso de prendas con alto contenido de **PES** para el personal médico de los quirófanos.

TABLA 2.49	
MATERIAL TEXTIL	RESISTIVIDAD SUPERFICIAL , ohms.cm
Algodón	4×10^{10}
PES/CO 50/50	5×10^{11}
PES/CO 65/35	8×10^{11}

18.6.0- ENSUCIAMIENTO / LAVABILIDAD

El ensuciamiento es, en general, mayor para las telas hechas con mezclas de **PES/CO**, debido a la mayor atracción electrostática del **PES** por el polvo del aire. La naturaleza química del **PES** hace también que retenga más los aceites minerales, las grasas, los cosméticos, etc. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los artículos hechos con mezclas de **PES/CO** son de más fácil lavado y secado que los de algodón puro, especialmente cuando se trata de suciedad de naturaleza no grasa. Son también más fáciles de manejar y separar en estado húmedo y de planchar y almacenar. Debido a su alta resistencia a la abrasión, una prenda de **PES/CO** resiste aproximadamente 300/400 ciclos de uso y lavados sucesivos, mientras que una de algodón puro solo unos 100-200 ciclos.

18.7.0- INFLAMABILIDAD

La inflamabilidad es un problema tanto para el algodón puro como para sus mezclas con **PES**. La mezcla **PES/CO 65/35** quema liberando humo negro. La aplicación de productos retardantes de llama aptos para el algodón puro, no es adecuada para sus mezclas con **PES**, sobre todo si este está en proporciones mayores al 30%. Para las mezclas de más de 30% con **PES** es necesario utilizar productos ignífugos especiales.

18.8.0- ENCOGIMIENTO

Casi todas las telas de algodón encogen un 5-8% en su primer lavado o tratamiento de prencogido. En las telas hechas con mezclas de **PES/CO** el encogimiento inicial baja al 1-2%. Si tenemos en cuenta que en el mercado textil las telas se venden por metro, esta es una clara ventaja para las mezclas **PES/CO**.

18.9.0- PESO

Las telas de **PES/CO** son más livianas que las de algodón puro, suponiendo igualdad en los detalles constructivos. El menor peso de las telas de **PES/CO** compensa la relativa disminución de confort de la prenda debido a la menor capacidad de absorber agua que presenta el **PES**.

18.10.0- ARRUGABILIDAD

El termofijado del **PES** a 190°C, además de fijar dimensiones, confiere resistencia antiarrugas. La tela queda con "memoria" del estado plano no arrugado y cualquier distorsión cede luego más fácilmente. Las telas de **PES/CO 65/35** termofijadas tienen buena recuperación de arrugas sin

ningún tratamiento. Para las mezclas **50/50** y **60/40** ("cotton rich") en cambio, la recuperación ya no es tan buena y deben tratarse con una terminación antiarrugas. Los productos antiarrugas se aplican por impregnación en un "foulard" y luego se fijan por "curado" térmico. Muchas veces junto con el acabado antiarrugas se aplican también productos retardantes de llama, resistentes a la suciedad, antiestáticos, etc.

18.11.0- BLANQUEO Y TINTURA

En general en las mezclas de **PES/CO** se trata de emplear algodón de buena calidad y buen grado de blanco. De esta forma muchas veces no es necesario "descrudar" o hacer un blanqueo químico previo a la tintura o estampación de la tela.

La tintura y la estampación se realizan en general, utilizando dos tipos de colorantes: "dispersos" para el **PES** y "reactivos" para el algodón. Las estampaciones con diseños complicados se estampan muchas veces, por termotransferencia, utilizando papeles "transfer". Estos papeles se imprimen previamente, con colorantes que subliman a una dada temperatura para fijarse sobre la tela (ver Capítulo 9, "Estampación Textil").

18.12.0- APLICACIONES Y TIPOS DE MEZCLAS

Hay por lo menos tres formas de mezclar las fibras de algodón y poliéster: 1) **mezcla íntima**, que consiste en mezclar ambas fibras antes del cardado, 2) **reuniendo cintas de carda**, de **PES** y de algodón, y estirarlas juntas luego en el "manuar" y 3) **mezclar en tejeduría**, p.ej. urdimbre de **PES** con trama de algodón.

Resumiendo podemos decir que las prendas hechas con telas de **PES/CO** tienen más duración y son de más fácil cuidado por su resistencia a la abrasión y al rasgado, por su facilidad de lavado y secado y por no necesitar, en muchos casos, planchado.

APLICACIONES PARA LAS TELAS CONSTRUIDAS CON MEZCLAS DE PES / CO			
TIPO DE TELA	TIPO DE MEZCLA	PESO DE LA TELA	ARTÍCULO
TEJIDO PLANO	PES/CO 65/35	LIVIANAS 95 g/m²	Camisas y blusas sports, sábanas, túnicas, pantalones, etc.
		PESADAS >95 g/m²	Ropa de trabajo, ropa de lluvia
TEJIDO DE PUNTO	PES/CO 65/35	LIVIANAS	Ropa sport: "remeras", "jerseys",etc.

TABLA 2.51
ARTÍCULOS TEXTILES HECHOS CON MEZCLAS DE PES / CO
 Comparación de propiedades frente al mismo artículo hecho de algodón puro
 (+) MEJOR, (-) PEOR

PROPIEDAD	CO	PES/CO
Resistencia al arrugado y recuperación elástica	-	+
Resistencia a la abrasión	-	+
Resistencia al desgarro	-	+
Formación de "pilling"	+	-
Higroscopicidad ("confort")	+	+-
Carga de electricidad estática	+	-
Resistencia al ensuciado	+-	+-
Facilidad de lavado	-	+
Facilidad de secado	-	+
Inflamabilidad	-+	-
Encogimiento	-	+
Peso/m ²	-	+

19.0.0- RECONOCIMIENTO DE FIBRAS TEXTILES

En la *Tabla 2.52* se da una lista de algunos de los ensayos más importantes para el reconocimiento de fibras textiles:

TABLA 2.52- ENSAYOS DE RECONOCIMIENTO DE FIBRAS TEXTILES	
1	Ensayo de Combustión
2	Observación Microscópica
3	Determinación del Índice de Refracción
4	Ensayos de Solubilidad (<i>con diferentes solventes</i>)
5	Tintura (<i>con diferentes colorantes</i>)
6	Difracción de Rayos X
7	Espectroscopía en Infrarojo FTIR (ref. 2)
8	Análisis Térmico Diferencial
9	Determinación del Peso Específico
10	Determinación del "Regain"
11	Determinación de Propiedades Mecánicas (<i>Tenacidad, Módulo</i>)
12	Determinación del Punto de Fusión (<i>sólo para las fibras químicas</i>)
13	Contenido Relativo de Nitrógeno y Carbono

Antes de realizar cualquier ensayo es conveniente observar y estudiar cuidadosamente el material textil: ver su aspecto, apreciar su tacto, investigar el uso final para el que está destinado, separar hilos de trama y urdimbre (*si es una tela plana*), ver sus diferencias, ver si hay fibras de diferente naturaleza, etc. Esto, en general, permite orientar mejor la investigación. Es conveniente realizar más de uno de los ensayos enumerados en la *Tabla 2.52*.

Los **ensayos de combustión** son muy prácticos. En general, se pueden tomar muestras de hilados de los orillos de las telas o prendas y con un simple encendedor hacer un sencillo ensayo de combustión (*ver Tabla 2.53*).

En la **observación microscópica** es muy conveniente valerse de un atlas con microfotografías de los diferentes tipos de fibras (*Ref. 1*). El examen bajo aceite mineral, de índice de refracción 1,48, permite, en general, identificar fácilmente la lana y el algodón. La observación microscópica bajo luz polarizada es también muy útil para ayudar a la identificación sobre todo en mezclas de fibras.

La determinación del **índice de refracción** es también muy útil para identificar la naturaleza de las fibras textiles. Si se determina a lo largo del eje de la fibra y en sentido perpendicular a este eje, podemos obtener un **índice de birrefringencia** (*ver Tabla 2-52*). Para medir índices de refracción y birrefringencia es necesario un microscopio con filtro polarizador por debajo y por encima del espécimen a observar (*no tejido*), colocado este en una platina capaz de rotar.

Los **ensayos de solubilidad** se hacen generalmente en tubos de ensayo pero, muchas veces, es muy útil colocar las fibras en un *porta-objeto* de vidrio, humedecerlas con una gota de solvente, cubrir todo con un *cubre-objeto* y observar al microscopio el proceso de hinchado y/o disolución que van sufriendo las fibras. El **ensayo de tintura** es también muy útil pero solo puede hacerse sobre fibras no teñidas o previamente decoloradas. En el mercado se ofrecen colorantes especialmente seleccionados para este fin (*ref 5 y 6*).

El **peso específico** de las fibras puede estimarse fácilmente colocándolas en líquidos de peso específico conocido, a una dada temperatura, y observando si flotan, se mantienen en el seno

del solvente o se hundan. Debe evitarse la formación de burbujas de aire y, naturalmente seleccionarse líquidos que no sean solventes o reaccionen de alguna forma con la fibra.

El **punto de fusión** es también un método de identificación sencillo que se puede aplicar solo a las fibras químicas. Permite p.ej. distinguir rápidamente entre Nylon 6 y Nylon 66.

La **espectroscopia en infrarrojo** es extremadamente precisa y permite a veces hasta determinar el origen o el fabricante de las fibras químicas. Generalmente se disuelve la fibra en un solvente adecuado, se hace un film por evaporación y se determina el espectro. Luego se compara con patrones preestablecidos.

Las **imágenes de difracción de RX** son muy útiles para obtener información sobre la estructura cristalina o amorfa del polímero del que está constituida la fibra, pero requiere la utilización de un equipamiento costoso. Lo mismo ocurre con alguno de los ensayos enumerados del 6 al 13.. Esos ensayos son necesarios cuando se deben resolver casos de dudas en la identificación de una fibra y en trabajos de investigación.

TABLA 2.53 – ENSAYOS DE COMBUSTIÓN		
NATURALES	PROTEICAS	Queman con llama irregular y chiporroteante. Olor característico a pelo quemado. Dejan residuo negro pulverizable. No encogen ni funden al quemar.
	CELULÓSICAS	Queman fácilmente. Olor característico a papel quemado. Dejan cenizas escasas No encogen ni funden al quemar.
	MINERALES	Se ponen incandescentes. Conservan su forma original. No encogen, no funden ni se carbonizan.
QUÍMICAS	ARTIFICIALES <i>Celulósicas</i>	Queman fácilmente. Dejan residuo carbonoso. Olor característico a papel quemado (<i>el rayon acetato desprende olor a vinagre</i>).
	SINTÉTICAS	Gotean al arder ó se encogen y funden formando bolita
	VIDRIO	No encoge ni carboniza. Funde formando bolita

TABLA 2.54 - OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES		
Aspecto longitudinal	Corte transversal	Fibra
Escamoso	Aprox. circular, con estructura interna	Lana, Alpaca, Cashmere, Mohair, Vicuña, Llama
Con canal central, continuo o entrecortado	Aprox. circular con canal central	Pelos de Conejo u otros
Con marcas transversales, débiles o marcadas	Aprox. circular con canal central	Lino, Cáñamo, Ramio, etc.
Cinta plegada en forma helicoidal	Forma de riñon con canal central	Algodón
Lisa	Aprox. triangular	Seda
Lisa	Aprox. circular y otras diversas formas	Artificiales y Sintéticas

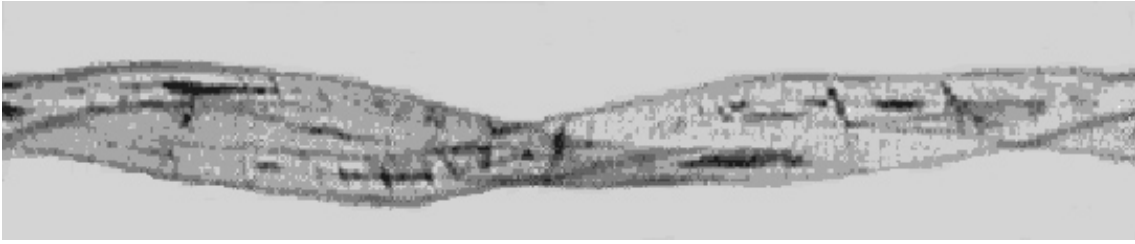


Figura 2.160

La observación microscópica de la fibra de algodón permite apreciar su aspecto de cinta achatada y plegada sobre sí misma

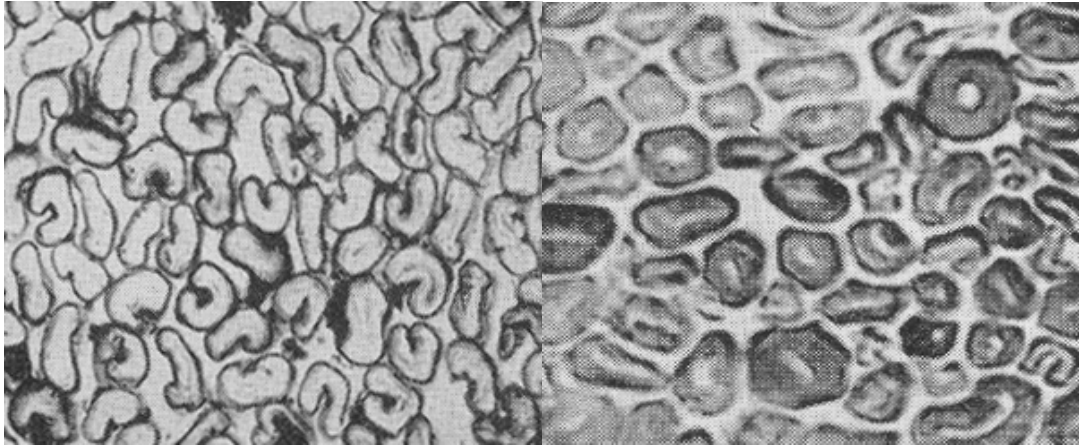


Figura 2.161 (a) y (b)

Corte transversal de fibra de algodón (a) sin mercerizar y (b) mercerizado



Figura 2.162

La observación microscópica de una fibra de lana permite apreciar su cutícula exterior escamosa, que la asemeja a un tronco de palmera.

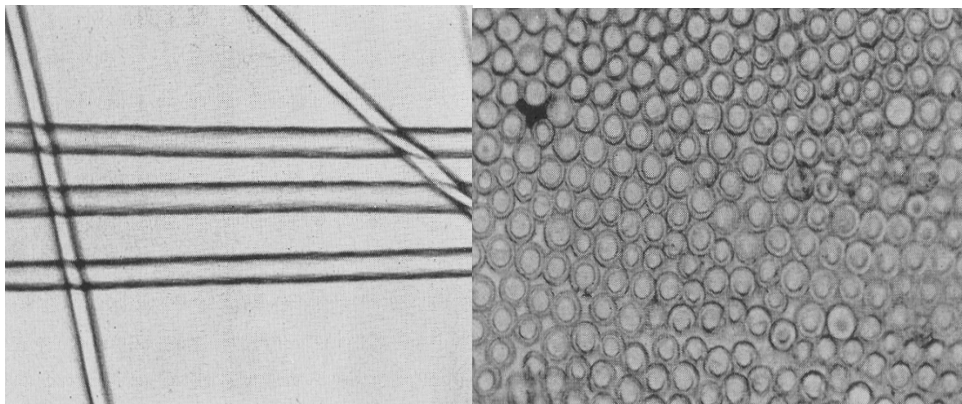
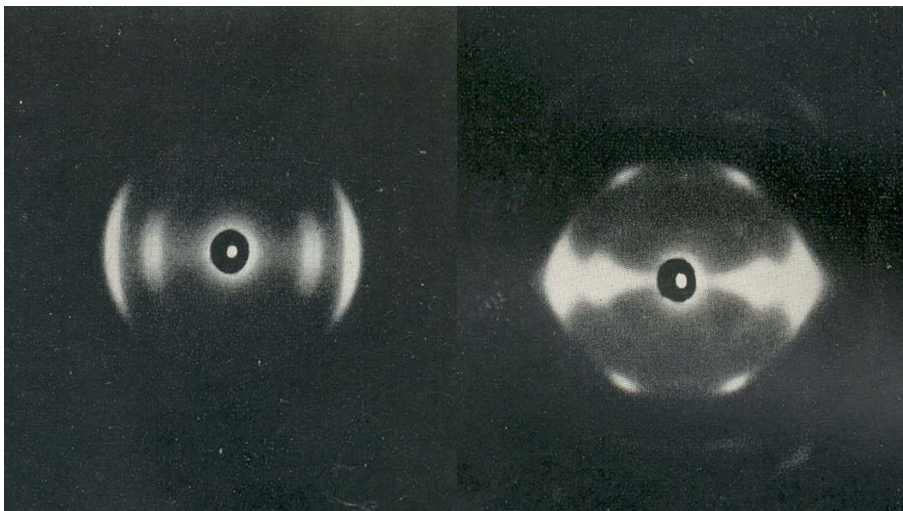


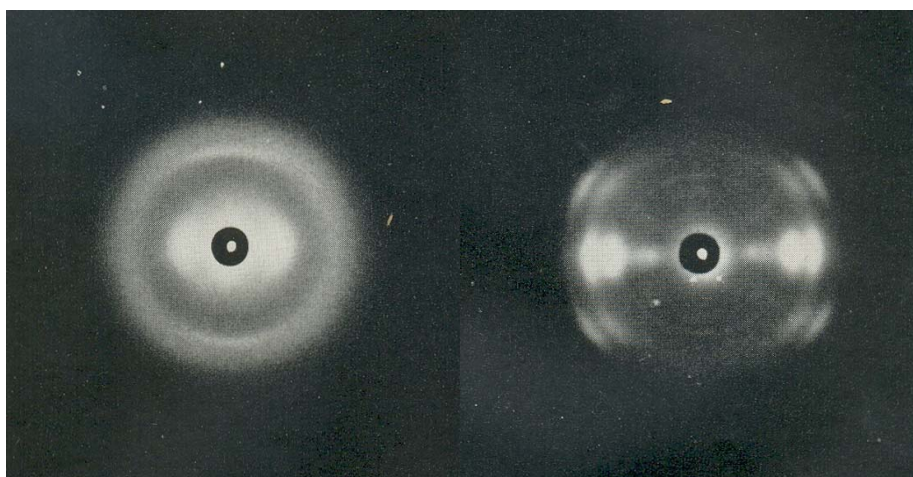
Figura 2.163 (a) y (b)

La observación microscópica de las fibras químicas permite apreciar su forma cilíndrica más regular que las de las fibras naturales: (a) observación longitudinal, (b) corte transversal

TABLA 2.55 – SOLUBILIDAD DE LAS FIBRAS TEXTILES	
ALGODÓN	Acido sulfúrico al 75%, 50°C, 60 min.
LANA	Hipoclorito de sodio 1M + NaOH 5g/l, 20°C, 30 min.
SEDA	Soda cáustica al 5%, a ebullición, 3 min.
VISCOSA	Acido fórmico al 85% + Cloruro de cinc (80+20), 40°C, 150 min
DIACETATO	Acetona, 20°C, 5 min
TRIACETATO	Cloruro de metileno, 20°C, 30 min.
POLAMIDAS 66	Acido fórmico al 80%, 20°C, 15 min
POLIAMIDA 6	Acido fórmico al 85% + Dimetilformamida (25/75), a ebullición
POLIAMIDA 11	Ciclohexanona a ebullición, 2 min
POLIESTER	Nitrobenzeno a ebullición, 2 min.
ACRÍLICA	Dimetilformamida a ebullición, 30 min.
MODACRÍLICA	Acetona o Dimetilformamida a ebullición
POLIPROPILENO	Xilol a ebullición, 3 min



Figuras 2.164y 2.165 - Imágenes de difracción de RX del Algodón y del Lino



Figuras 2.166 y 2.167 - Imágenes de difracción de RX de la Lana y de la Seda Tussah

TABLA 2-56 * PROPIEDADES DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES

FIBRA	Punto de Fusión, °C	Índice de Refracción			Peso Específico mg/mm ³	Regain % (65% HR, 20°C)
		Paralelo al eje, ϵ	Perpendicular al eje, ω	Birrefringencia $\epsilon - \omega$		
ALGODON	-	1,580	1,533	0,047	1,54	12,0
LANA	-	1,556	1,547	0,009	1,31	15,0
LINO	-	1,596	1,528	0,068	1,54	7,0
SEDA	-	1,591	1,538	0,053	1,35	9,4
R.ACETATO	260	1,479	1,477	0,002	1,32	5,0
R.VISCOSA	-	1,547	1,521	0,026	1,52	13,3
NYLON 6	219	1,568	1,515	0,053	1,14	4,0
POLIESTER (*)	256	1,710	1,535	0,175	1,38	0,4
ACRILICO	-	1,520	1,524	-0,004	1,17	1,8
POLIETILENO	135	1,556	1,512	0,044	0,93	0,0
POLIPROPILENO	170	1,530	1,496	0,034	0,90	0,1

(*) Los valores varían según el tipo de poliéster (composición química y fabricante)

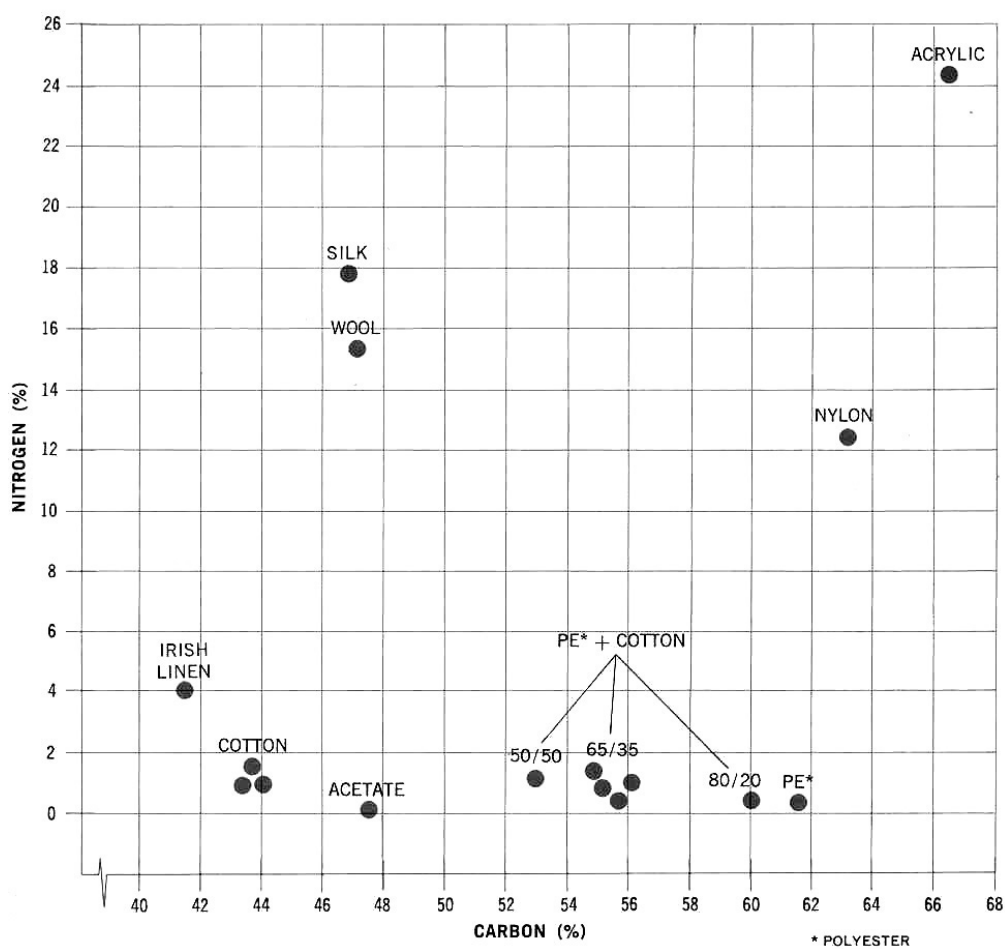
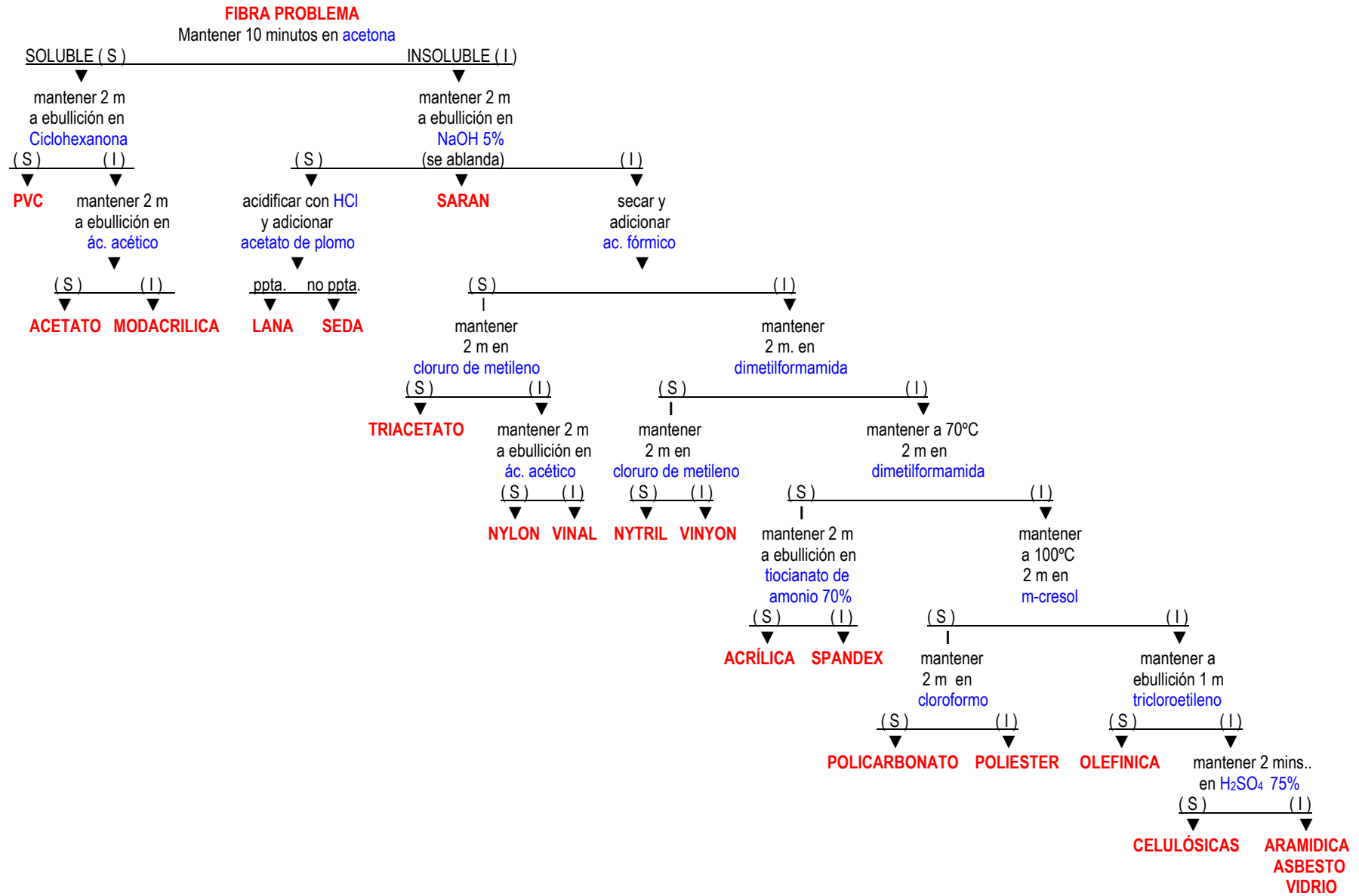


Figura 2.168

IDENTIFICACION DE FIBRAS TEXTILES POR SU CONTENIDO RELATIVO DE NITROGENO Y CARBONO
(Tomado de "Facts & Methods", Hewlett Packard, Vol. 8, N° 3, 1967)

PROCEDIMIENTO SISTEMÁTICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FIBRAS TEXTILES



BIBLIOGRAFÍA

- 1- **“Handbook of Textile Fibres”**, Milton Harris, Harris Research Laboratories, Inc. 1246 Taylor Street, N.W., Washington 11, D.C., USA
- 2- **“Handbook of Textile Fibres”**, J.Gordon Coole, Redwood Burn Ltd., Trowbridge, Wiltshire, England
- 3- **AATCC Test Method 20-1988**
- 4- **“Caracterización de Fibras Textiles por Espectroscopía Infrarroja usando transformada de Fourier (FTIR)**, Xavier Colom, UPC, Instituto de Investigaciones Textiles, Colon 15, Terrassa (Barcelona), España.
- 5- **“Modern Textile Characterization Methods”**, Mastura Raheel, Marcel Dekker Inc., 2000, Testfabrics, Inc., P.O.Drawer O.200 Blacford Ave., Middlesex, N.J. 08846, USA.
- 6- **“Textile Fibres under the Microscopy”**, Shirley Institute Publications, Shirley Developments Ltd., P.O.Box 6, 856 Wilmalow Road, Manchester, M20 85A, UK
- 7- **“Tabla de Fibras Textiles”**, Asociación Española de Químicos y Coloristas Textiles, Gran Via de les Corts Catalans, 08010, Barcelona, España.

CAPITULO III

LA LANA

ESTRUCTURA, COMPOSICION Y PROPIEDADES



CONTENIDO

PAGINA

1. 0. 0- La lana.....	3
2. 0. 0- El lavado de la lana	4
3. 0. 0- La morfología de la fibra de lana.....	6
4. 0. 0- Las queratinas de la lana.....	10
5. 0. 0- El enlace peptídico.....	11
6. 0. 0- Los aminoácidos de la lana.....	12
7. 0. 0- El carácter anfótero de las queratinas.....	17
8. 0. 0- Enlaces en y entre cadenas peptídicas.....	17
9. 0. 0- Modificaciones químicas de la lana.....	21
9. 1. 0- <i>La ruptura del enlace disulfuro.....</i>	21
9. 2. 0- <i>La acción de agentes reductores.....</i>	22
9. 3. 0- <i>La reducción / alquilación.....</i>	22
9. 4. 0- <i>La sulfitólisis.....</i>	22
9. 5. 0- <i>La sulfitólisis oxidativa.....</i>	24
9. 6. 0- <i>La acción de otros aniones sulfa-oxigenados.....</i>	24
9. 7. 0- <i>La acción de agentes oxidantes.....</i>	24
9. 8. 0- <i>La acción de los álcalis.....</i>	25
9. 9. 0- <i>La introducción de "crosslinking" adicional.....</i>	27
9.10.0- <i>La acción de los ácidos.....</i>	28
9.11.0- <i>La acilación.....</i>	30
9.12.0- <i>La esterificación.....</i>	31
9.13.0- <i>La alquilación y la arilación.....</i>	31
9.14.0- <i>La acción del agua y el calor.....</i>	32
9.15.0- <i>El tratamiento térmico en húmedo sin tensión.....</i>	32
9.16.0- <i>El tratamiento térmico seco sin tensión.....</i>	33
9.17.0- <i>El tratamiento térmico en húmedo con tensión.....</i>	33
10.0.0- Apéndice: Aminoácidos.....	41
11.0.0- Bibliografía.....	44

1.0.0- LA LANA

A fines del 2010 se estimaba la producción mundial de lana en algo más de 2 millones de toneladas por año y la población mundial de ovinos en unos 1000 millones (*lo que daría un rendimiento promedio de 2 kg de lana por animal y por año*). Se estimaba también que las ventas al consumidor final, de artículos de lana en todo el mundo, era de alrededor de 80.000 millones de dólares (*datos de la IWTO, International Wool Textile Organization*).

La fibra de *lana* presenta una gran variación de *finura, largo y rizo*, dependiendo de la raza, la dieta, la sanidad y el clima. Estas características morfológicas de la fibra (*ver Sección 3.0 "Morfolología", 3.1 "Características Externas de las fibras"*) influyen en la *voluminosidad, carácter* y *estilo* del vellón de lana.

En el vellón se pueden encontrar, a veces, fibras gruesas y rígidas con una médula o canal central, continuo o fragmentado, conteniendo restos de núcleos celulares y vesículas de aire. Si estas fibras meduladas (*o "pelos" o "kemps", como también se les llama*) pasan al hilado, no pueden ser disimuladas por la tintura y son claramente visibles en los tejidos (*se ven más claras*), con lo que la calidad del artículo disminuye. Los "kemps" son manifestaciones genéticas residuales de los ancestros de los ovinos actuales, las cabras salvajes. En éstas, el vellón está compuesto de dos partes: una parte externa de fibras gruesas meduladas, que se "muda" o cambia naturalmente todas las primaveras y, otra parte interna o "duvet", compuesta de fibras no meduladas, más finas y más suaves. Los ovinos actuales fueron seleccionados por el Hombre durante siglos para obtener animales que no "mudaran" el vellón en primavera y en cambio este creciera, en forma continua, compuesto mayoritariamente de fibras no meduladas más finas. Este nuevo tipo de vellón debe ser cortado con intervención humana (*o "esquilado"*) todas las primaveras.

1.1.0- VOLUMINOSIDAD

La *voluminosidad* (*"bulk"*), definida como la relación volumen/masa, es una característica muy apreciada en la lana pues permite una mejor apariencia y estructura de tejidos, especialmente los de punto, con una mejor aislación térmica por una mayor retención de aire entre las fibras. Esta propiedad es muy importante para la elaboración de mantas y frazadas. Por otra parte, la voluminosidad es una característica asociada con la cantidad de *rizo* y la *recuperación elástica* ambas muy apreciadas para la elaboración de alfombras. Estas propiedades presentan una gran variabilidad según las razas, edad y salud del animal, alimentación, etc. Las lanas uruguayas tienen una voluminosidad promedio de unos 25 a 27 cm³/g. La *voluminosidad*, el *rizo* y la *recuperación elástica* son muy apreciadas en artículos elaborados con hilados cardados gruesos más que para los hechos con hilados peinados delgados, con mucha torsión. Las lanas con mucha voluminosidad pueden producir mucho desperdicio en la operación de peinado, donde dan lugar a mayor cantidad de "noil" o "blousse" (*fibras cortas que son separadas por la peinadora*).

1.2.0- ESTILO y CARÁCTER

El "*estilo*" de una lana en bruto o en "rama", ha sido hasta ahora una apreciación subjetiva. Las características que contribuyen al "*estilo*" son la *forma* y *largo* de la mecha, la *cantidad* y la *definición* del *rizo*, la *forma* de las puntas de las fibras, el *aspecto* debido a la influencia del medio ambiente (*como p.ej., el color del polvo y su penetración*), el color de la materia grasa, etc. El "*estilo*" es, entonces, una suma de características genéticas y ambientales y que, recientemente, se ha tratando de medir objetivamente (*algo parecido a lo que ocurre con la "mano" de una tela*).

Para ello se han empleado técnicas de análisis de imágenes como p.ej. *"CSIRO Style Instrument"* desarrollado por el CSIRO de Australia.

Por otra parte, la *cantidad de rizo por cm de mecha* y la *"definición" o amplitud de la curva del rizo*, dan una característica de la lana conocida como *"carácter"*. El *"carácter"*, es quizás lo que más influye en el *"estilo"* de la lana. La cantidad de *rizos por cm de largo de fibra* guarda cierta relación con su *"finura"*: a mayor cantidad de *rizos por cm* mayor la *"finura"*. Es muy importante que haya un buen balance entre el *"estilo"* y el *"carácter"*.

Se estima que la disminución de un rizo por cm, o un aumento en la amplitud del rizo en una unidad de *"definición"* resulta, en cada caso, en un aumento de 4 mm en el *"hauteur"* del *"top"* (*"Hauteur"*: *media del largo de la fibra*. *"Top"*: *cinta o mecha peinada*. Ver Cap.4, *"Hilatura de Fibras Discontinuas"*). Es decir, para el proceso de hilatura, especialmente el de peinaduría, el tamaño del rizo es beneficioso. En cambio, la cantidad de rizos por cm no lo sería tanto.

A la lana en vellón o *"sucia"* enfardada y almacenada se le hace una serie de ensayos (*"Core Test"*) para determinar su calidad: rendimiento al lavado, finura por *"air flow"*, contenido de vegetales, longitud y resistencia a la tracción de la mecha, color, etc. (ver Cap. 2, *"Fibras Textiles"* y Cap.4, *"Hilatura de Fibras Discontinuas"*).

2.0.0- EL LAVADO DE LA LANA

La lana vellón - o en *"rama"* o en *"bruto"*, como a veces se le llama - presenta gran cantidad de impurezas que deben retirarse por lavado antes de que se encuentre apta para el proceso de hilatura. En la tabla siguiente damos la composición promedio de las lanas uruguayas en *"bruto"* o *"sucias"*.

TABLA 3.1 - COMPOSICION PROMEDIO DE LA LANA SUCIA (VELLÓN)

	%
Fibra	65-75
Grasa (*)	10-12
"Suint" (**)	7-8
Tierra, arena, materia vegetal	10-12

(*) Segregada por las glándulas sebáceas. (**) Segregado por las glándulas sudoríparas, el *"suint"* posee un alto contenido de sales potásicas.

El correcto lavado de la lana es un proceso de extrema importancia para no dañar a la fibra, evitando que esta se rompa en el cardado y en otras etapas de la hilatura. Es muy importante tener en cuenta las ventajas e inconvenientes del lavado neutro y el alcalino, con detergentes no iónicos, la temperatura, la agitación mecánica, los tiempos y las etapas de lavado que se utilicen.

Los contaminantes proteicos, derivados principalmente de restos y células de piel, están distribuidos irregularmente sobre las fibras. En el baño de lavado estos restos proteicos forman un *"gel"* que se adhiere a la fibra - atrapando suciedad, grasa y *"suint"* - que es muy difícil de retirar. Se han desarrollado sistemas de lavado para facilitar la remoción de este *"gel"* y hacer el lavado más eficiente (ej. el *"SIROSCOUR"* desarrollado por el CSIRO de Australia)

La lana, luego de ser lavada queda, en general, con un contenido de grasa de aproximadamente 0.4 %. En hilandería, especialmente para la operación de cardado, se agregan ensimajes para lubricar y disminuir la rotura de fibras.

Con fines de investigación la lana se lava con mezclas de éter de petróleo y etanol y luego con agua. Este tipo de tratamiento daña menos a la fibra pero es industrialmente poco usado (*Proceso Smet*)

BIBLIOGRAFÍA: "Wool Scouring and Allied Technology", R.G.Stewart, WRONZ (Wool Research Organization of New Zealand)



Figura 3.1
Diferencia de aspecto entre lana gruesa (izquierda) y lana fina (derecha)

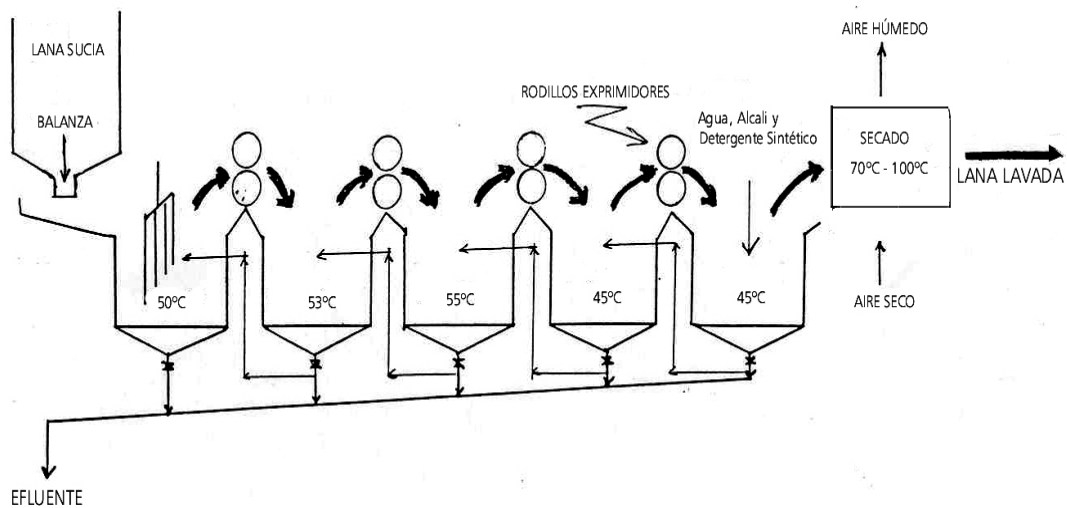


Figura 3.1.b
Esquema de un lavadero de lana

3.0.0- LA MORFOLOGÍA DE LA FIBRA DE LANA

3.1.0- CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DE LA FIBRA

Como ya se mencionó, las fibras de lana presentan una gran variación de diámetro aparente, rizo y largo, dependiendo de la raza, la dieta, el clima y el estado sanitario del animal. El **diámetro aparente** de la fibra lana varía alrededor de los 18 μm para las más finas, p.ej. de raza Merino (*con hasta 9000 fibras por cm^2 de piel*), y hasta 30-40 μm para lanas gruesas, p.ej. de raza Romney Marsh. La **longitud** de la fibra, suponiendo esquilas anuales, varía de 7-8 cm para las lanas más finas hasta 30 cm para las más gruesas (*se ha estimado que una oveja merino produce 8 m/min de lana*). El **rizo** también puede presentar una gran variación: entre 1 y 12 rizos por cm (*los temas "finura" o diámetro aparente, largo y rizo de las fibras se discuten en la sección "Propiedades Morfológicas" del Cap.2, "Fibras Textiles"*). El **color** de la lana va del blanco hasta el amarillo crema (*aunque hay lanas marrones y negras*) con **brillos** variables.

Con lana de cordero ("lamb's wool") se obtienen artículos muy suaves pues se trata de una lana muy fina, de animal joven. Las lanas finas son menos rígidas y por tanto "pinchan" menos. Las puntas de la lana de cordero son además, "naturales, es decir de primera esquila. Las puntas naturales también "pinchan" menos que aquellas que se generan por una esquila anterior.

3.2.0- ESTRUCTURA DE LA FIBRA

La fibra está formada básicamente por dos tipos de células: **1)** las **medulares** que constituyen la mayor parte de la fibra o médula o cortex y **2)** las **cuticulares** que rodean la médula. La **cutícula** es aproximadamente el 10% en peso del total de la fibra. Las células de la cutícula se superponen unas sobre otras como las tejas de un techo o las escamas de un pescado y están orientadas hacia la punta de la fibra. Una fibra de lana observada al microscopio semeja el tronco de una palmera. Esta estructura es la responsable del "afieltrado" de la lana. En general el espesor de la cutícula de la lana corresponde al de una simple célula, salvo en las zonas donde las células se superponen. La célula de la cutícula de la lana Merino es en general rectangular con dimensiones aprox. de 20 x 30 x 0,5 μm .

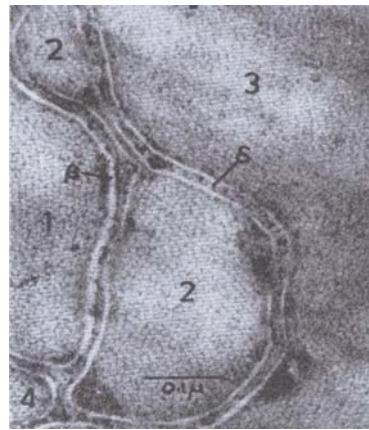
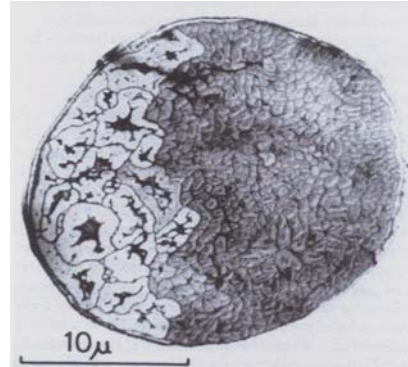
La observación microscópica de un corte de la fibra muestra que cada célula de la médula está compuesta de una **exocutícula** resistente a las enzimas y una **endocutícula** sensible al ataque por enzimas, ambas rodeadas por una **epicutícula** hidrófoba que hace que la lana sea impermeable al agua líquida pero no al vapor de agua. La lana alcanza un "regain" de saturación de 30-35 % y en general su alto contenido de humedad hace que no genere electricidad estática. Las células de la médula poseen una membrana celular compleja que actúa de "cemento" entre ellas y que las separa de la cutícula.

El 90% de la fibra esta formado por las células de la médula, que son de dos tipos: las del **ortocortex** y las del **paracortex**. Ambas partes tienen diferentes propiedades químicas y tintóreas. En el rizo, el paracortex está siempre ubicado por dentro mientras que el ortocortex por fuera del rizo. Las células de la médula tienen forma de huso y en general miden 95 μm de largo y 5 μm de diámetro. Están formadas por **macrofibrillas** que contienen **microfibrillas** cilíndricas (*de alta cristalinidad*) de 10 μm de largo y 7.2 μm de diámetro, todas empaquetadas en una **matriz** amorfa (*de baja cristalinidad*). Las **microfibrillas** están formadas por moléculas de queratina de **bajo contenido en azufre**. La matriz en cambio esta formada por queratina de **alto contenido de azufre**. Las **microfibrillas** contienen grupos de dos cadenas de polipéptidos, α -espirales

retorcidos conjuntamente. Como se dijo antes, las **microfibrillas** están agrupadas en “manojos” dentro de las **macrofibrillas** que a su vez están *más empaquetadas* en el ortocortex que en el paracortex. Es decir, en el paracortex hay más matriz amorfa que en el ortocortex. Las células de la médula tienen también restos de núcleo celular, que son más abundantes en el paracortex que en el ortocortex.



Figura 3.2
Fibra de lana



Figuras 3.3 y 3.4
ARRIBA: corte transversal
ABAJO: membrana celular

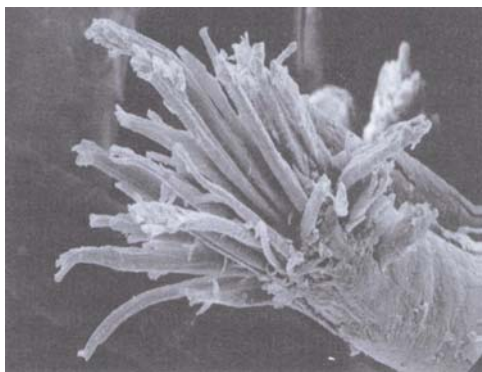


Figura 3.5
Fibrilación por abrasión

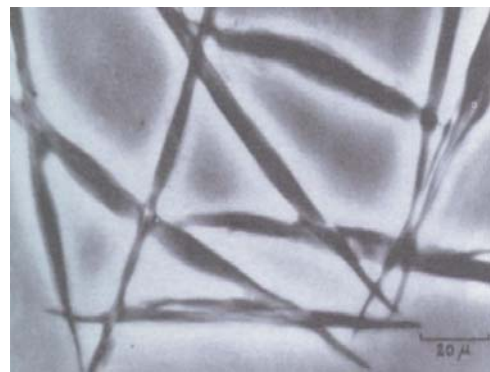


Figura 3.6
Células corticales

Imágenes reproducidas del libro "Wool Dyeing", ed. por D.M. Lewis, por gentileza de la "Society of Dyers and Colourists"

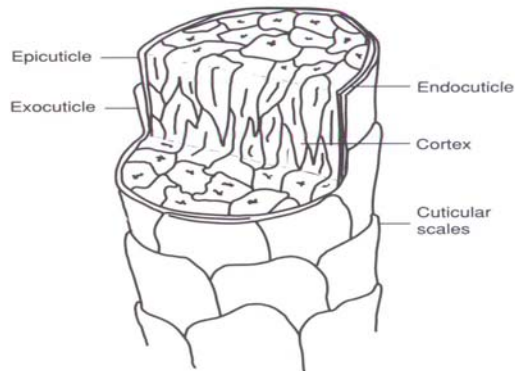


Figura 3.7

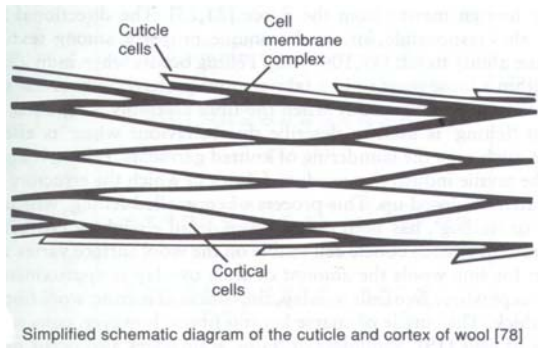


Figura 3.8

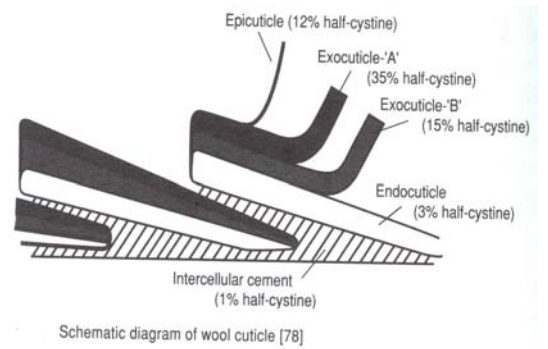


Figura 3.9



Relationship between ortho/para segmentation and fibre crimp

Figura 3.10

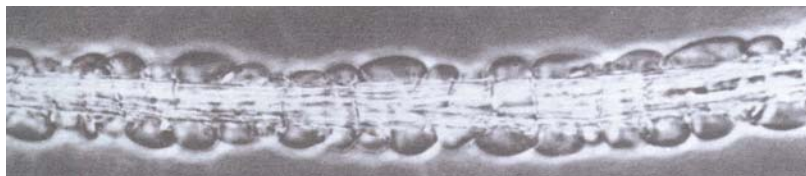


Figura 3.11 - Burbujas de Allwörden producidas por la presión resultante de la formación de productos de oxidación por debajo de la epicutícula, como resultado de sumergir la fibra en agua de cloro.

Imágenes tomadas del libro "Wool Dyeing", ed. por D.M. Lewis, por gentileza de la "Society of Dyers and Colourists"

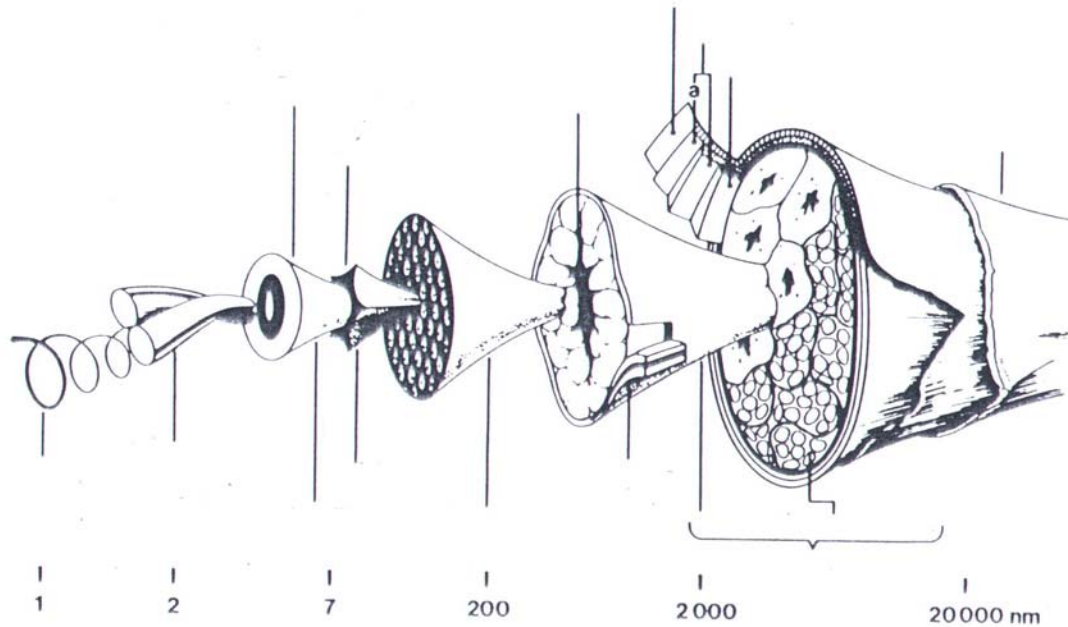


Figura 3.12

Reproducida del libro "Wool Dyeing", ed. por D.M.Lewis, por gentileza de la "Society of Dyers and Colourists"

TABLA 3.2				
DIMENSIONES APROXIMADAS DE UNA FIBRA DE LANA MERINO, en μm				
COMPONENTE	LARGO	ANCHO	DIÁMETRO	ESPEJOR
<i>Fibra</i>	<i>100.000</i>	-	<i>20</i>	-
<i>Célula de cutícula</i>	<i>30</i>	<i>20</i>	-	<i>0.5</i>
<i>Materia intercelular (*)</i>	-	-	-	<i>0.025</i>
<i>Célula cortical</i>	<i>95</i>	-	<i>5</i>	-
<i>Macrofibrilla</i>	<i>10</i>	-	<i>0.3</i>	-
<i>Microfibrilla</i>	<i>1</i>	-	<i>0.007</i>	-
<i>Protofibrillas (**)</i>			<i>25 A</i>	

(*) "Cell membrane complex" (**) α -hélice de tres cadenas polipéptidas

4.0.0- LAS QUERATINAS DE LA LANA

Todas las fibras animales, excepto la seda, contienen queratinas. El espectro de difracción de rayos X de la fibra de lana en estado normal de reposo, da una estructura característica, la **α -queratina**. La misma fibra sometida a tensión, da otro tipo de estructura: la **β -queratina**. Las **queratinas** también se encuentran en el mundo animal en pelos, garras, uñas, pezuñas, cuernos, picos y plumas. Las plumas p.ej. están compuestas de β -queratina aunque no estén sometidas a tensión. Las queratinas de los mamíferos son todas α -queratina mientras que la de reptiles y aves pueden ser α ó β .

En general, en comparación con otras proteínas, las queratinas tienen un alto contenido de **azufre (3 a 4%)**. Las queratinas de las fibras de animales mamíferos contienen tres fracciones proteicas: las de bajo contenido de azufre (*la más abundante*), las de alto contenido de azufre y las de alto contenido de tirosina.

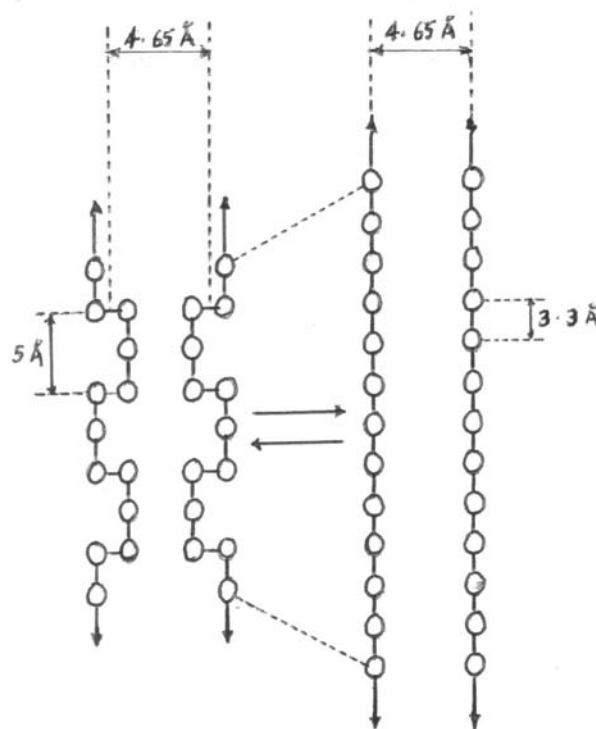


Figura 3.13

Se estima que la lana contiene unos 170 tipos de proteínas diferentes. Algunas de ellas deben clasificarse como "no-queratínicas" de acuerdo a su contenido de cistina. El menor contenido de cistina y por tanto de enlaces disulfuro entre cadenas polipeptídicas hace a estas proteínas más lábiles y menos resistentes al ataque químico que las queratinas.

Las características de estructura interna de la fibra sumadas a las de la estructura de las moléculas poliméricas de la queratina, hacen que la lana tenga, si bien poca resistencia a la tracción longitudinal, una gran recuperación elástica. Después de la seda es la fibra con mayor índice de recuperación elástica (ver Cap. 2 "Fibras Textiles"; Secc. 5.0.0 "Propiedades Mecánicas"; 5.3.0 "Comportamiento Elástico", Tabla 2.24; 5.4.0 "El Diagrama Esfuerzo-Deformación", Fig.2.69). La cantidad y la forma del rizo contribuyen a la recuperación elástica.

5.0.0- EL ENLACE PEPTÍDICO

En una proteína los *aminoácidos*, o monómeros, se *polimerizan por condensación*, es decir por reacción del grupo ácido carboxílico con el básico amino, con eliminación de una molécula de agua, para formar un enlace peptídico $-\text{CO}-\text{NH}-$, y una larga cadena polimérica o *cadena polipeptídica*, con cadenas laterales $-\text{R}$

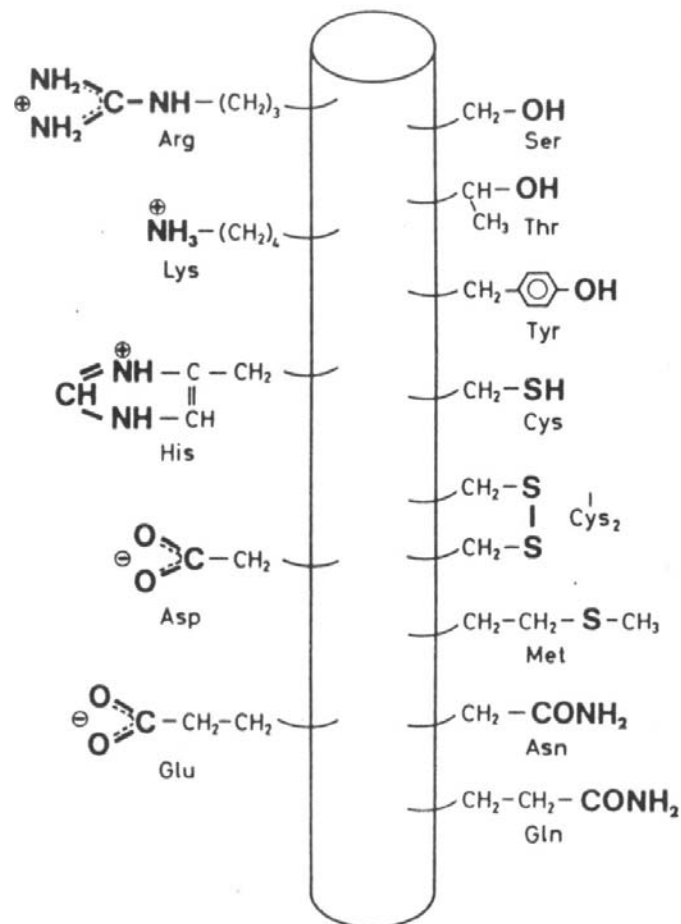
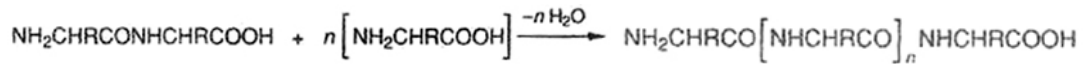
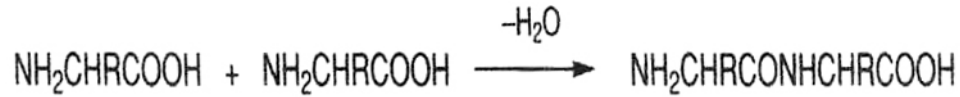


Figura 3.14

6.0.0- LOS AMINOACIDOS DE LA LANA

La lana, lavada adecuadamente, es proteína prácticamente pura ya que luego del lavado industrial el contenido graso es general de sólo 0.4% aprox.

Por hidrólisis de las *queratinas* de la lana se obtienen 18 *aminoácidos*. La cantidad relativa de estos aminoácidos puede variar de una muestra a otra para distintas zonas de un mismo vellón, entre animales de una misma majada, según la raza, estado sanitario y alimentación del animal.

TABLA 3.3 - CONTENIDO DE AMINOACIDOS EN LANA MERINO

(Composición aproximada obtenida por hidrólisis ácida)

	AMINOACIDO	µmol/g
1.	Alanina	417-512
2.	Arginina	600-620
3.	Aspargina (y ácido aspártico) (1)	500-600
4.	Cistina (2)	400-500
5.	Cisteina	20-40
6.	Fenilalanina	208-257
7.	Glicina	757-815
8.	Glutamina (y ácido glutámico) (1)	1020-1049
9.	Histidina	58-82
10.	Isoleucina	234-318
11.	Leucina	583-721
12.	Lisina	193-277
13.	Metionina	37-47
14.	Prolina	522-633
15.	Serina	860-902
16.	Tirosina (3)	349-380
17.	Treonina	547-572
18.	Triptófano (4)	35-44
19.	Valina	423-546

(1) La hidrólisis ácida de las proteínas convierte los residuos de asparagina en ácido aspártico y los de glutamina en ácido glutámico. La hidrólisis enzimática permite la identificación individual de cada uno de estos aminoácidos. (2) El contenido en cistina de la queratina, y por tanto el de azufre, varía con la alimentación del animal. El contenido en cistina influye especialmente en las propiedades de la fibra. Se ha sugerido el agregado de metionina a la dieta del lanar para aumentar el contenido de cistina. (3) El contenido en tirosina varía mucho con la raza del animal. (4) El triptófano se destruye con la hidrólisis ácida y debe ser determinado por otros métodos.

Las *proteínas* extraídas de la lana, después de someterlas a un proceso de reducción y carboximetilación pueden separarse en tres fracciones. Una referida como *SCMK-A* ("S-carboxymethylkeratine-A") agrupa a las proteínas de bajo contenido en azufre. La *SCMK-B* ("S-carboxymethylkeratine-B") contiene dos grupos de proteínas: las de alto y muy alto contenido de azufre. Una tercer fracción contiene otro grupo de proteínas, de alto contenido en residuos *glicina* y *tirosina*.

Las proteínas de bajo contenido en azufre tienen conformación helicoidal y se encuentran preferentemente en las microfibrillas mientras que las de alto contenido de azufre se encuentran en la matriz. Las de alto contenido en glicina y tirosina se encuentran también en la matriz y en el "cemento" intercelular.

TABLA 3.4 - FRACCIONES PROTEICAS DE LANA MERINO			
<i>Fracción proteica</i>	<i>cantidad %</i>	<i>contenido en azufre (S), %</i>	<i>Peso Molecular</i>
Bajo contenido de S	58	1,5-2,0	45.000-60.000
Alto contenido de S	18	4,0-6,0	11.00-23.000
Muy alto contenido de S	8	8,0	28.000-37.000
Alto contenido en glicina y tirosina	6	0,5-2,0	9.000-13.000

TABLA 3.5 - CONTENIDO EN AMINOACIDOS DE VARIAS FRACCIONES PROTEICAS AISLADAS DE LA LANA, moles %					
<i>AMINOACIDO</i>	<i>Fracción de bajo contenido en Azufre SCMK-A</i>	<i>Fracción de alto contenido en Azufre SCMK-B</i>	<i>Fracción de alto contenido en Glicina y Tirosina (1)</i>	<i>Fracción de alto contenido en Glicina y Tirosina (2)</i>	<i>LANA</i>
Alanina	6.9	2.9	1.5	1.1	5.4
Arginina	7.3	5.9	5.4	4.7	6.9
Acido Aspártico	9.0	3.0	3.3	1.8	6.5
½ Cistina	6.0	18.9	6.0	9.8	10.3
Acido Glutámico	15.7	8.4	0.6	0.7	11.9
Glicina	7.7	6.9	27.6	33.6	8.4
Histidina	0.6	0.8	1.1	0.1	0.9
Isoleucina	3.6	3.6	0.2	0.2	3.1
Leucina	10.2	3.9	5.5	5.3	7.7
Lisina	3.5	0.6	0.4	0.4	2.9
Metionina	0.6	0.0	0.0	0.0	0.5
Fenilalanina	2.5	1.9	10.3	4.5	2.9
Prolina	3.8	12.5	5.3	3.0	6.6
Serina	8.2	12.7	11.8	10.9	10.4
Treonina	4.8	10.3	3.3	1.7	6.4
Tirosina	3.6	2.1	15.0	20.3	3.8
Valina	6.1	5.6	2.1	1.4	5.6

Ver APÉNDICE 1: Aminoácidos

TABLA 3.6

<i>A – AMINOÁCIDOS MONOAMINO- MONOCARBOXÍlicos</i>			
<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cadena Lateral</i>	<i>Punto Isoeléctrico</i>
1- Glicina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	<i>Hidrocarburo</i>	6.0
2- Alanina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	"	6.0
3- Valina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	"	6.0
4- Leucina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	"	6.0
5- Isoleucina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{HC}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$		6.0

TABLA 3.7

<i>B – AMINOÁCIDOS HIDROXI-MONOAMINO-MONOCARBOXÍlicos</i>			
<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cadena Lateral</i>	<i>Punto Isoeléctrico</i>
6- Serina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	<i>con grupo hidroxilo</i>	5.7
7- Treonina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{OH} \end{array}$	"	5.6

TABLA 3.8

<i>C – AMINOÁCIDOS MONOAMINO-DICARBOXÍLICOS y AMIDOCARBOXÍLICOS</i>			
<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cadena Lateral</i>	<i>Punto Isoeléctrico</i>
8- Ácido Aspártico	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	<i>con grupo Acido</i>	2.8
9- Asparagina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	"	
10- Ácido Glutámico	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	"	3.2
11- Glutamina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	"	

TABLA 3.9

<i>D – AMINOÁCIDOS DIAMINO-MONOCARBOXÍLICOS</i>			
<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cadena Lateral</i>	<i>Punto Isoeléctrico</i>
12- Lisina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	<i>con grupo Básico</i>	10.0
13- Arginina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{NH} \\ \\ \text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{H}_2\text{N} \quad \text{NH} \end{array}$	"	10.8

TABLA 3.10

<i>E</i> -AMINOÁCIDOS CON UN ÁTOMO DE AZUFRE			
Nombre	Fórmula	Cadena Lateral	Punto Isoeléctrico
14- Cisteína	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{SH} \end{array}$	con S	5.1
15- Metionina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{S} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	"	5.7

TABLA 3.11

<i>F</i> -AMINOÁCIDOS CON ANILLOS CÍCLICOS			
Nombre	Fórmula	Cadena Lateral	Punto Isoeléctrico
16- Fenilalanina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{HC} \quad \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{HC} \quad \text{CH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Hidrocarburo	5.5
17- Tirosina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{HC} \quad \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{HC} \quad \text{CH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	con grupo Hidroxilo	5.7
18- Triptófano	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C} \quad \text{C} \\ / \quad \backslash \quad / \quad \backslash \\ \text{HC} \quad \text{C} \quad \text{CH} \quad \text{CH} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{N} \quad \text{C} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	con grupo heterocíclico	5.9
19- Histidina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}=\text{CH} \\ \quad \\ \text{HN} \quad \text{N} \\ \quad \\ \text{C} \quad \text{H} \end{array}$	con grupo básico	7.6
20- Prolina	$\begin{array}{c} \text{HN}-\text{CH}-\text{COOH} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H}_2 \end{array}$	con grupo heterocíclico	6.3

7.0.0- EL CARÁCTER ANFÓTERO DE LAS QUERATINAS

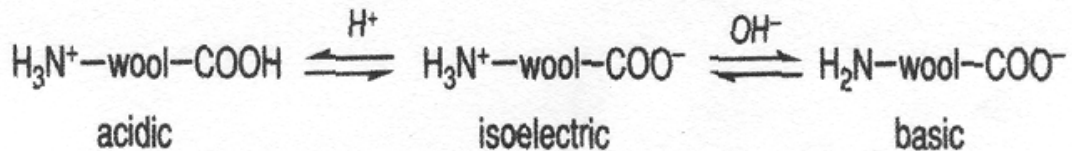
La *queratina*, como otras proteínas, contiene grupos *básicos* y *ácidos* y es, por tanto, *anfótera*.

El carácter *ácido* de la lana es principalmente debido a los grupos *carboxílicos* presentes en los "residuos" correspondientes a los ácidos *aspártico* y *glutámico* así como a los grupos *carboxílicos terminales* de cadena. Estos últimos, sin embargo, contribuyen muy poco al carácter ácido ($10\mu\text{moles/g}$). Los grupos carboxílicos atraen a los *colorantes básicos*.

El carácter *básico* de la lana es debido principalmente a los grupos *amino* presentes en los "residuos" de *arginina*, *lisina* e *histidina* y en menor medida a los grupos *amino terminales* de los extremos de las cadenas peptídicas. Todos estos grupos básicos atraen a los grupos sulfónicos y carboxílicos de los *colorantes ácidos*. Además los "residuos" de *lisina* e *histidina* son sitios importantes para la formación de enlaces covalentes con los *colorantes reactivos*.

Hay un *balance* aproximado entre los grupos ácidos y básicos. Cuando este balance se rompe se producen cambios importantes en algunas propiedades de la fibra: resistencia a la tracción, supercontracción y en su capacidad de aceptar el fijado dimensional (*"settability"*). Esto es debido principalmente a la disminución de interacciones electrostáticas e hidrofóbicas internas y a la ruptura de enlaces hidrógeno.

En medio acuoso, cuando existe un equilibrio entre la ionización de los grupos ácidos y básicos, el pH corresponde al *punto isoiónico* de la proteína, muy próximo al *punto isoelectrico*. Para la lana, el punto isoelectrico se verifica en el entorno de **pH 4.9**. En el punto isoelectrico la lana carece, considerada globalmente, de cargas eléctricas y presenta la menor reactividad y solubilidad.



8.0.0- ENLACES EN Y ENTRE LAS CADENAS PEPTÍDICAS

8.1.0- ENLACES DISULFURO

Las *queratinas* se caracterizan por su alto contenido en *cistina* (aprox. $500\mu\text{moles/g}$ en la *queratina de la lana*). Los *enlaces disulfuro* de los "residuos" *cistina* forman puentes entre las cadenas peptídicas adyacentes y restringen así el acomodo o alineación de estas cadenas. Estos enlaces *covalentes* son los responsables de la relativamente alta resistencia a la tracción en húmedo, del bajo hinchamiento lateral y de la insolubilidad de la lana.

A pesar de que el enlace disulfuro en la fibra seca es aparentemente estable, puede romperse y restablecerse fácilmente bajo la acción del calor y el agua, si la fibra está bajo tensión. La rotura de los enlaces disulfuro y la formación de los mismos en otros lugares, creando nuevos puentes entre las cadenas peptídicas, es de especial importancia en procesos industriales de "terminación" de las telas de lana, como p.ej. el fijado dimensional o "setting".

Si, como ha sido sugerido, todas las cadenas peptídicas adyacentes están unidas entre sí por puentes disulfuro, una fibra de lana contendría moléculas gigantes de queratinas.

Los "residuos" *cisteínicos* catalizan la nueva formación de los enlaces disulfuro, por un mecanismo de intercambio "grupo tiol/enlace disulfuro". También proveen sitios adicionales para

la fijación de colorantes reactivos. Aunque los "residuos" cistínicos son responsable de la mayoría de los puentes entre cadenas peptídicas adyacentes, existen también otros tipos de enlaces puentes *covalentes*.

8.2.0- ENLACES ISOPÉPTIDICOS

Es un enlace *covalente* que une un grupo ϵ - aminoácido de "residuo" *lisina* con el grupo γ - carboxilo de "residuo" *ácido glutámico* (I), o, menos frecuentemente, al grupo β - carboxilo de un "residuo" *ácido aspártico* (II).

8.3.0- ENLACES DI-TIROSINA Y TRI-TIROSINA

Los "residuos" *tirosina* también pueden participar en el "crosslinking" de la queratina, formando uniones *covalentes* de di - y tri - tirosina. Este tipo de "crosslinking" se encuentra, en gran proporción, en la proteína "resilin", de consistencia similar a la goma natural, presente en la cutícula de los insectos

8.4.0- ENLACES SALINOS

Los "residuos" aniónicos ácido glutámico y ácido aspártico, que tienen grupos carboxílicos libres, forman puentes salinos con los "residuos" catiónicos arginina, lisina e histidina que tienen grupos amino libres. Por tanto son posibles 6 enlaces electrovalentes distintos

Si bien los enlaces salinos son de menor energía que los covalentes, juegan un rol muy importante en las propiedades mecánicas y fisicoquímicas de la lana. En la tintura de la lana, estos enlaces se rompen para interactuar con los colorantes ácidos y básicos.

8.5.0- ENLACES HIDRÓGENO

El átomo de hidrógeno de los grupos -NH presentes en las cadenas peptídicas, posee afinidad no solo por el átomo de nitrógeno al que está unido, sino también a átomos de oxígeno próximos. Así cuando un grupo -NH se encuentra próximo a un grupo -CO se forma un *enlace o "puente" de hidrógeno*. Los *enlaces hidrógeno* están en un plano perpendicular al de las uniones salinas y disulfuro. Se trata de enlaces débiles pero como existen en gran cantidad, juegan un rol muy importante en las propiedades mecánicas y fisicoquímicas de la lana.

8.6.0- "ENLACES" HIDROFÓBICOS

Pueden ocurrir interacciones hidrofóbicas entre grupos de cadenas laterales no polares (*como las de la alanina, fenilalanina, valina, leucina e isoleucina*) con exclusión de las moléculas de agua que tuvieran asociadas. Este tipo de unión contribuye a la resistencia mecánica de la queratina, especialmente a altos contenidos de humedad. Es importante en el "fijado dimensional" de la lana y contribuye al gradual secado de las telas, característico de la lana.

Muchos de estos enlaces pueden también encontrarse como uniones dentro de una misma cadena peptídica, en particular los enlaces H.

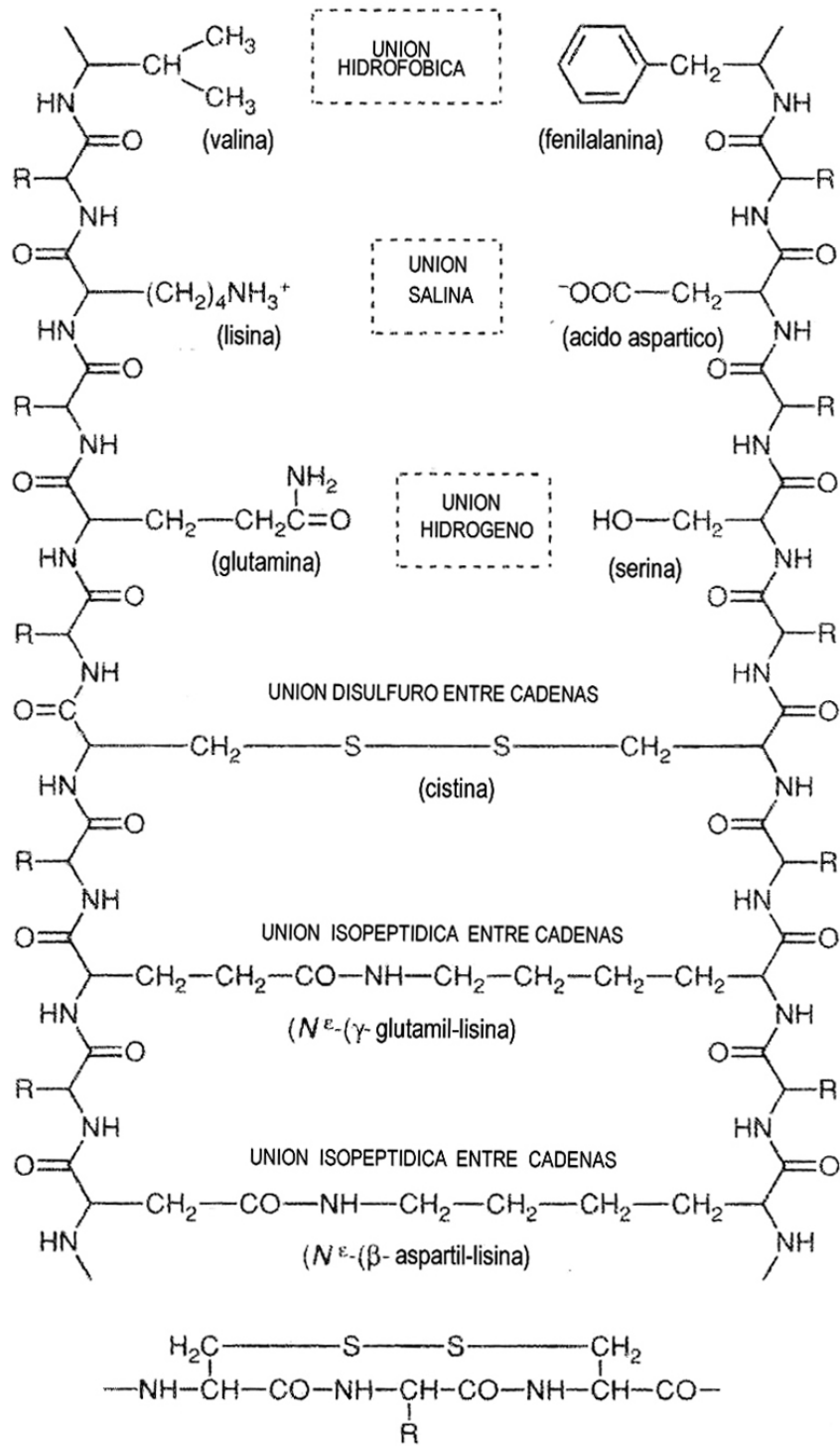


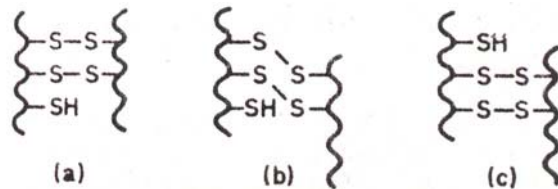
Figura 3.18

Tomada del libro "Wool Dyeing", ed.por D.M.Lewis, con autorización de la "Society of Dyers and Colourists"

9.0.0- MODIFICACIONES QUÍMICAS DE LA LANA

9.1.0- LA RUPTURA DEL ENLACE DISULFURO

Los enlaces disulfuro de los "residuos" cistina entre cadenas polipeptídicas contiguas restringen el movimiento entre estas. Las propiedades de la lana se modifican si estos enlaces puentes se rompen dando lugar a grupos *tiolos*. La ruptura y la nueva formación del *enlace disulfuro* en otro lugar juega un rol clave en el fijado dimensional ("*setting*") de las telas de lana.



Para el "fijado" de la lana es necesaria también la ruptura de *enlaces hidrógeno*. Los *enlaces hidrógenos* pueden romperse simplemente por acción del agua caliente

La ruptura de los *enlaces disulfuro* requiere la acción de agentes más enérgicos (*especialmente reducción y sulfitólisis*). Los grupos *tiolos* que se forman promueven la "recreación" de los enlaces disulfuro. Todo reactivo que introduzca en la lana grupos *tiolos* extra será agente de fijado dimensional ("*setting*") efectivos.

El restablecimiento de los enlaces disulfuro es promovido por los *aniones tiol (RS⁻)* más que por el *grupo tiol (RSH)*. Por tanto, la lana adquiere poco "fijado" o "*setting*" en condiciones ácidas donde no hay *RS⁻* y, por el contrario, buen fijado en condiciones neutras o alcalinas, que son las que promueven la formación de *aniones tiol (RS⁻)*.

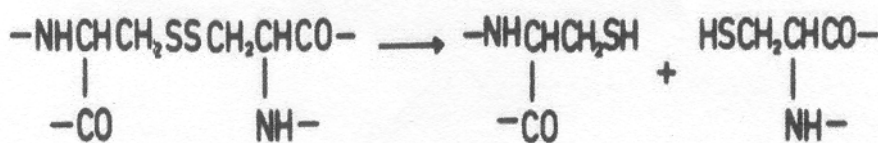
El bloqueo de los *grupos "tiol" (RSH)* por reacción con *n-etilenmaleimida* o la *iodoacetamida* hace que la lana sea más difícil de "fijar".

Es muy probable que la ruptura de *enlaces disulfuro* en la cutícula de la fibra imparta también resistencia al encogimiento y arieltrado. Los procesos antiarieltrantes oxidativos con cloro son seguidos, en general, por un tratamiento anticloro con bisulfito. Existen indicios de que el bisulfito cumple más que el rol de anticloro: completaría el clivaje de las uniones disulfuros parcialmente oxidadas en la cutícula de la fibra.

Contrariamente a lo que se pensaba antes, los enlaces disulfuros no son responsables del color crema de la lana. Por tanto su destrucción por sulfitólisis durante el blanqueo reductor con sulfitos es un efecto lateral no deseado, pues la resistencia a la tracción de la fibra disminuye con la destrucción de estos enlaces.

La lana tratada con bisulfito se tiñe más fácilmente, probablemente porque los colorantes pueden penetrar también más fácilmente al existir menos "crosslinking". La velocidad de subida de los *colorantes ácidos* para lana con alto peso molecular, como p.ej. los colorantes ftalocianínicos, mejora notablemente cuando se agrega bi o metabisulfito al baño con el colorante, urea, ácido y tensoactivo. La fijación de algunos *colorantes reactivos* aumenta también pues el colorante reacciona con los grupos tiol producidos por sulfitólisis. Sin embargo, esto no se puede decir de aquellos colorantes reactivos, como los del tipo vinil-sulfona que reaccionan con bisulfito.

9.2.0- LA ACCIÓN DE AGENTES REDUCTORES



El tratamiento de la lana con agentes reductores transforma los enlaces disulfuro en grupos tiol, de forma que cada "residuo" *cistina* genera dos de *cisteína*. Una moderada acción reductora es suficiente para producir cambios útiles en la fibra. P.ej. un 20 % de disminución de los enlaces disulfuro es ya suficiente para obtener resistencia al encogimiento y aumentar la capacidad de fijado dimensional (*setting*). En cambio si muchos enlaces disulfuro son rotos por reducción se produce una disminución inaceptable de la resistencia de la fibra.

Si bien muchos agentes químicos son capaces de reducir el enlace disulfuro, solo unos pocos permiten minimizar el ataque a la queratina. Los más utilizados son el *ácido tioglicólico*, el *tioglicolato de amonio*, las *fosfinas*, el *sesquisulfito de monoetanolamina*. Estas sustancias generan grupos tioles sin atacar los enlaces peptídicos de la queratina. (*Los tres primeros actúan por reducción, el sesquisulfito de monoetanolamina por sulfitolisis*).

Se debe tener en cuenta que si bien se destruyen enlaces disulfuro se puede generar también "crosslinking" por formación de "residuos" de *lantionina* y *lisinolantionina*. En la fibra de lana seca, la destrucción de enlaces disulfuro produce relativamente un menor cambio en el diagrama carga -extensión.

9.3.0- LA REDUCCIÓN / ALQUILACIÓN

Luego de la reducción, los grupos tioles de la cisteína pueden ser reconvertidos rápidamente a enlaces disulfuro por oxidación en presencia de aire. Esto se puede impedir por alquilación del grupo tiol. Con este fin se ha usado *iodoacetato* y otros *alquil-haluros*, fundamentalmente para investigación de la estructura de la queratina.

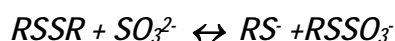
El trabajo necesario para estirar una fibra de lana en agua, en la que un 90% de los enlaces disulfuros han sido reducidos y metilados, es solo el 5% del trabajo necesario para estirar la misma fibra original.

La *reducción/alquilación* afecta marcadamente la absorción, la relajación y la supercontracción de la lana. Una reducción/alquilación moderada se logra con el tratamiento simultáneo de *tributillfosfina* y *cloroacetato*.

Con la aplicación de agentes de *alquilación bifuncionales* a la lana reducida se busca introducir puentes o "crosslinking" más estables, que hagan a la lana más resistente a los ataques químicos y al ataque de los insectos. La aplicación industrial de la reducción/alquilación es tema aún de investigación y desarrollo.

9.4.0- LA SULFITÓLISIS

La *sulfitólisis*, por acción del *sulfito* sobre un enlace disulfuro, produce un grupo tiol y un anión S-sulfonato:



La sulfitólisis de un "residuo" cistina produce un "residuo" cisteína y otro de S-sulfocisteína.

El *bisulfito* (o *sulfito ácido*) (HSO_3^-) y el *metabisulfito* (o *pirosulfito*) ($\text{S}_2\text{O}_5^{2-}$) también pueden usarse, ya que estos y el *sulfito* (SO_3^{2-}) coexisten en equilibrio en una solución acuosa. El *anión bisulfito* es el más activo a pH 5.4 :

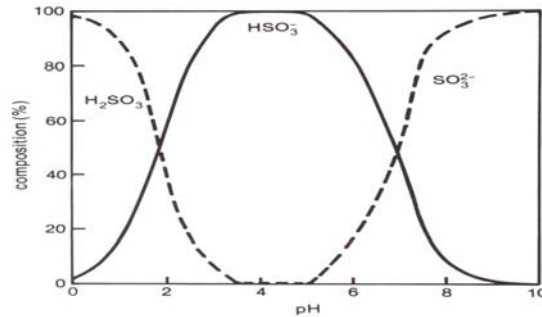
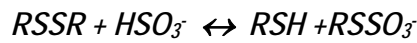


Figura 3.15

Sin embargo, el sulfito reacciona con la cistina mil veces más rápido que el bisulfito y puede ser el anión más activo, aún en soluciones débilmente ácidas. Al aumentar el pH la concentración de sulfito aumenta y por tanto la sulfitolisis. Por encima de pH 9, sin embargo, el sulfito comienza a ser rechazado por los aniones carboxílicos de la cistina. Existe por tanto un pH óptimo para el cual tanto la velocidad de reacción como la constante de equilibrio de la reacción son máximas.

La sulfitolisis es mayor cuando se usa alcohol como solvente, seguramente por un mayor acceso a las regiones hidrofóbicas de la fibra. Existe un método de **decatizado** en el que la tela se impregna en una solución de bisulfito conteniendo alcohol bencílico y luego se somete al planchado con vapor. Si este tratamiento es muy intenso la lana se hincha en exceso y adquiere un aspecto "gomoso".

La sulfitolisis moderada actúa casi exclusivamente sobre los "residuos" cistina. Sin embargo, luego de tratamientos prolongados con soluciones de sulfito calientes se encuentran residuos de *lantionina* que indicarían ataque más intensos.

Solo la mitad aproximadamente de todos los "residuos" cistina de la queratina son pasibles de sulfitolisis. Mucho se ha investigado sobre este aspecto que aparentemente se debe principalmente a impedimentos estéricos y electrostáticos producidos por grupos vecinos al enlace disulfuro, especialmente por aniones carboxílicos.

La sulfitolisis de la lana tiene gran importancia industrial: el bisulfito de sodio y el sesquisulfito de monoetanolamina se usan como agentes de fijación. El bisulfito de sodio se emplea también como agente de blanqueo de la lana, pero en este caso la sulfitolisis de los enlaces disulfuros es, en general, un efecto secundario indeseable.

El agregado de tensoactivos catiónicos mejora el fijado o "setting" de las telas de lana en presencia de bisulfito de sodio, seguramente porque estos promueven la sulfitolisis. En cambio el agregado de tensoactivos aniónicos disminuye la sulfitolisis, especialmente a pH ácido. La remoción incompleta de tensoactivos no iónicos en el lavado de la lana puede influir negativamente en el posterior fijado o "setting" de las telas de lana. La sulfitación puede ser también seguida de alquilación.

9.5.0- SULFITOLISIS OXIDATIVA

La *sulfitólisis oxidativa* convierte el enlace disulfuro en dos aniones S-sulfonato:



Obviamente, el oxidante utilizado no debe reaccionar con el bisulfito. Esta reacción es utilizada en técnicas analíticas para la determinación de cistina.

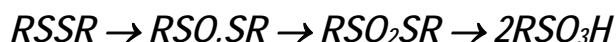
9.6.0- LA ACCIÓN DE OTROS ANIONES SULFO-OXIGENADOS

El *hidrosulfito de sodio*, conocido también como ditionito de sodio o hiposulfito de sodio o sulfoxilato de sodio ($Na_2S_2O_4$) y el *formaldehído sulfoxilato de sodio* ($HOCH_2SO_2Na \cdot 2H_2O$) son importantes *blanqueantes reductores* para la lana. Se recomiendan también para el desmontado de colorantes y como agentes reductores en la tintura con colorantes tinas. El uso de estos productos puede, sin embargo, dañar la lana. El daño puede ser minimizado realizando el blanqueo reductor a pH 5.0-7.0, en presencia de reactivos bifuncionales como el formaldehído, el glioxal y el 1,2-dibromoetano, que remplazan los enlaces disulfuro dañados por otros puentes de "crosslinking" más estables. A pesar de esto, este proceso no se utiliza frecuentemente en la industria.

El tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) afecta poco a la lana a pH neutro pero en soluciones alcalinas aún débiles, ataca la cistina produciendo lantionina. Se ha encontrado que lo mismo ocurre con el sulfato de sodio ($NaSO_4$). Se estima que el ataque es debido a la solución alcalina y que estas sales no tienen de por sí acción sobre la cistina y que se limitarían solamente a aumentar la fuerza iónica de la solución alcalina.

9.7.0- LA ACCIÓN DE AGENTES OXIDANTES

La cistina, cisteína, metionina y triptofano son los "residuos" de queratina más susceptibles de ser oxidados. La oxidación completa del "residuo" cistina, que de los mencionados es el más abundante, produce "residuos" de ácido cisteico (*cys-SO₃H*), además de otros productos intermedios:



La lana tratada por agentes oxidantes contendrá entonces grupos de ácido sulfónico y puede actuar como una resina de intercambio catiónica. No actúa en realidad como una resina con grupos sulfónicos sino como una con grupos carboxílicos. Los grupos sulfónicos compensarían internamente con los grupos básicos amino, dejando a los grupos ácido carboxílicos, grupos aniónicos débiles, disponibles para combinarse con cationes.

El fijado dimensional o "setting" de las telas de lana, así como en general la "supercontracción", depende de la existencia de grupos tiol y disulfuro y del intercambio tiol/disulfuro. Como los grupos tiol se oxidan con facilidad, la lana sometida a oxidación tendrá inhibida su capacidad de fijado dimensional.

Una tela de lana "fijada", si se la sumerge en agua caliente, puede perder su fijado dimensional gradualmente. Sin embargo, si posteriormente al fijado la tratamos con un oxidante, destruimos los grupos tioles remanentes, que son los que catalizan el restablecimiento de los enlaces disulfuro, y entonces la tela conserva su fijado dimensional.

Los tratamientos oxidativos de la lana, como el blanqueo con peróxido de hidrógeno y los tratamientos antifieltrantes con cloro (*en húmedo o con cloro gas*) deben controlarse cuidadosamente para evitar daños excesivos a la fibra.

La oxidación moderada con cloro ha sido utilizada en la estampación de lana para mejorar la penetración de colorantes durante el vaporizado. La oxidación moderada con peróxido de sodio de las alfombras de lana se ha utilizado para disminuir la acumulación de carga estática. Esto se atribuye a un aumento de las propiedades hidrofílicas de la cutícula, lo que hace que la superficie de la fibra se haga más conductora y las cargas eléctricas se desplacen hacia la corteza.

El método industrial de blanqueo consiste en tratar la lana con 0,6-1.0 % de peróxido de hidrógeno a pH 9.0 y 50-60 °C, durante 2 a 6 hs., con el agregado de pirofosfatos, oxalatos o silicatos para minimizar la descomposición del peróxido en oxígeno y agua. La presencia de Cu^{2+} y Fe^{3+} debe ser evitada, pues catalizan la descomposición del peróxido y la oxidación de la cistina a residuos de ácidos cisteicos. La lana es de todas formas dañada durante el blanqueo oxidativo alcalino y se debe alcanzar un compromiso entre el grado de blanco deseado y el daño aceptable. El blanqueo en medio ácido es menos agresivo pero la acción blanqueante es menor.

El grado de daño producido por el blanqueo puede evaluarse con el ensayo de "*solubilidad alcalina*" o por el nivel de manchado con *azul de metileno*. La oxidación excesiva de los "residuos" cistina a "residuos" de ácido cisteico produce un aumento de la capacidad de absorción de este colorante básico.

9.8.0- LA ACCIÓN DE LOS ALCALIS

Todas las proteínas son susceptibles de degradación por álcalis debido a la hidrólisis del *enlace peptídico* y de las cadenas laterales aminadas. Los *enlaces disulfuro* de la cistina también son atacados.

La queratina, que es una proteína con alto contenido en cistina, es muy sensible al ataque con álcalis. La lana por tanto no debe someterse a tratamientos alcalinos prolongados pues su resistencia a la tracción disminuye marcadamente, adquiere una mano áspera y color amarillento.

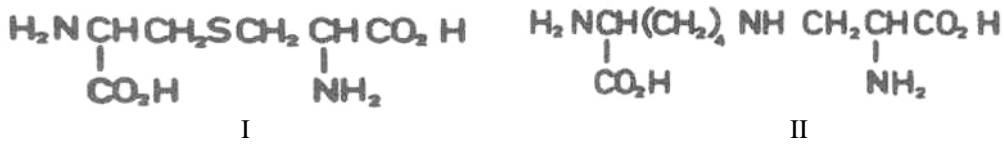
Por ejemplo, el lavado de la lana, en todas sus formas de presentación (*en bruto, tela, prendas, etc.*) debe ser hecho preferentemente con detergentes no iónicos a pH cercanos a la neutralidad y a temperaturas no mayores de 50 °C

La lana se disuelve completamente en soluciones alcalinas concentradas y calientes. Esta propiedad se utiliza para la determinación del contenido de vegetales en la lana en bruto, para determinar el contenido en colorante en lanas teñidas y para estimar el contenido en lana en mezclas de lana y poliéster.

Sin embargo, el tratamiento de la lana con soluciones alcalinas concentradas, *por breve tiempo*, le confiere propiedades antifieltrantes. Seguramente la remoción de la cutícula explica este resultado.

Se ha recomendado el pretratamiento de la lana con soluciones diluidas de hidróxido de sodio y fosfato trisódico para aumentar su afinidad por los colorantes ácidos. En estampación se han obtenido interesantes efectos de contraste tratando previamente algunas partes de la tela con soluciones alcalinas. Lo mismo ocurre en tejeduría utilizando algunos hilos tratados y otros no.

En la lana tratada con álcali se detectan principalmente "residuos" de *lantionina* (I), así como de *lisinoalanina* (II) y otros aminoácidos:



La lana tratada con soluciones alcalinas presenta una disminución de la solubilidad según el *ensayo urea-bisulfito*. Esta disminución de solubilidad se ha atribuido a la formación de puentes o "crosslinking" de *lantionina* y *lisinoalanina*. Si bien esto se acepta para el tratamiento de la lana con soluciones alcalinas *concentradas* no hay acuerdo con respecto a las soluciones alcalinas *diluidas*. Algunos investigadores sostienen que los tratamientos alcalinos moderados producen un cambio de estructura de la queratina, con aumento de enlaces hidrógenos, que hace que la solubilidad en el *ensayo urea-bisulfito* disminuya.

En general un aumento del *pH*, *la temperatura* y *el tiempo* en el tratamiento de la lana, causa una disminución del contenido de *azufre*, así como un aumento en el de *lantionina* y *lisinoalanina*. Sin embargo, si el tratamiento es intenso y prolongado la producción de *lantionina* llega a un máximo y luego disminuye, seguramente porque también los "residuos" de *lantionina* comienzan a ser destruidos por el álcali. Esto explicaría en parte, la escasa correlación entre la descomposición de la *cistina* y la formación de la *lantionina* durante los tratamientos alcalinos de la lana.

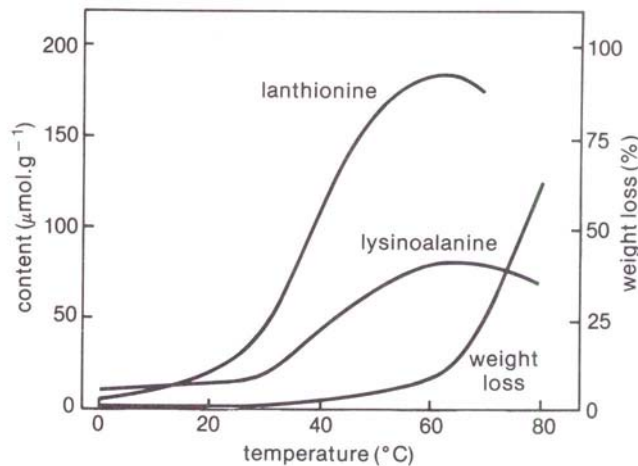


Figura 3.16

La presencia de solventes orgánicos, iones inorgánicos y tensoactivos influye en el ataque alcalino sobre la lana y debe ser considerada en cada caso.

El tratamiento con soluciones acuosas de alquilaminas le confiere a la lana una mayor afinidad por los colorantes ácidos y reactivos. El efecto es tan intenso que la lana puede ser teñida a 25°C. Este es un tema que merece mayor investigación.

El tratamiento con *cianuros* disminuye la solubilidad urea/bisulfito de la lana, indicando la posible introducción de "crosslinking". Por el contrario, un tratamiento más intenso produce un aumento de la absorción en ácido fórmico, sugiriendo una disminución de "crosslinking".

9.9.0- INTRODUCCION DE "CROSSLINKING" ADICIONAL

Dada la importancia que los enlaces disulfuro de la queratina tienen sobre las propiedades de la lana, se ha tratado de introducir enlaces adicionales entre las cadenas peptídicas.

La introducción de "crosslinking" adicional puede producir cambios sustanciales en las propiedades de la fibra, como la absorción, el hinchamiento, la supercontracción, el fijado y la recuperación del arrugado.

La introducción de "crosslinking" extra puede ser muy útil para la reparación de las fibras dañadas por procesos húmedos como el *carbonizado*, el *blanqueo* y la *tintura*. Puede ser útil también para estabilizar la lana después del "fijado" dimensional ("*setting*") y para introducir algo de resistencia al encogimiento por afieltrado.

La introducción de "crosslinking" no necesariamente aumenta la rigidez de la fibra y por tanto el ensayo de resistencia a la tracción no es suficiente para detectar un aumento de "crosslinking". El "crosslinking" adicional puede ser detectado: 1) determinando el cambio de propiedades, p.ej. absorción y supercontracción o, 2) determinando la disminución de solubilidad de la lana con los ensayos de "solubilidad alcalina" o de "solubilidad en urea/bisulfito".

La lana se hincha casi instantáneamente cuando se la sumerge en ácido fórmico y absorbe casi un 180% de su peso, aumentando aproximadamente 50% su diámetro y 2% su largo. Estos valores disminuyen marcadamente cuando se introduce "crosslinking".

El término "supercontracción" describe la contracción de una fibra que luego de ser estirada se contrae a una longitud menor a la que tenía originalmente, antes de ser estirada. La lana, aún sin ser estirada, se contrae cuando se le somete a ciertos tratamientos (p.ej. cuando se la sumerge en soluciones de bisulfito o cianuro de sodio). También a este fenómeno se le llama "supercontracción". Las lanas con "crosslinking" adicional se contraen menos.

En el ensayo de "solubilidad alcalina" son atacados los enlaces peptícos y los enlaces disulfuro. En el ensayo de "solubilidad en urea/bisulfito" son atacados solo los enlaces disulfuro y por eso se prefiere este último para evaluar la introducción de "crosslinking" adicional.

El formaldehído, por su reactividad con los grupos amino, hidroxilo y tioles, es capaz de introducir "crosslinking" y de hecho se utiliza para el tratamiento de la lana previo al blanqueo o la tintura para minimizar el daño a la fibra. Es especialmente útil para proteger la lana cuando, en mezclas con poliéster, se le tiñe a 120°C. Debe usarse, sin embargo, con precaución.

La determinación de los sitios de reacción del formaldehído con la lana es difícil. Las cadenas laterales de la lisina, asparagina y glutamin (con grupos amino), y las cadenas laterales de tirosina, triptófano, histidina y cisteína, todas pueden reaccionar con el formaldehído para dar puentes entre cadenas peptídicas. Además el formaldehído es capaz de polimerizarse por autocondensación generando puentes *oximetilénicos* $-CH_2(OCH_2)_n-$, en adición al más sencillo puente *metilénico* $-CH_2-$

Otras sustancias utilizadas o ensayadas en la introducción de "crosslinking" adicional son dialdehídos, alquil y aril-dialogenuros, agentes de acilación, benzoquinonas, diepóxidos, etc.

Se puede también introducir "crosslinking" sin incorporar al enlace el reactivo usado. Esto se logra con reactivos que introducen en las proteínas grupos *tioles* adicionales o que promueven la ionización de grupos tioles ya existentes. Los grupos tioles promueven el "crosslinking" pues permiten la creación de enlaces disulfuro.

Es conveniente recordar que existen también otros usos del formaldehído, distintos a la introducción de "crosslinking" en la lana, como son la desinfección de mantas y fardos de lana en bruto durante su almacenaje.

9.10.0- LA ACCIÓN DE LOS ÁCIDOS

La consideración de la acción de los ácidos sobre la lana tiene importancia especial en algunos procesos industriales como la tintura y el carbonizado.

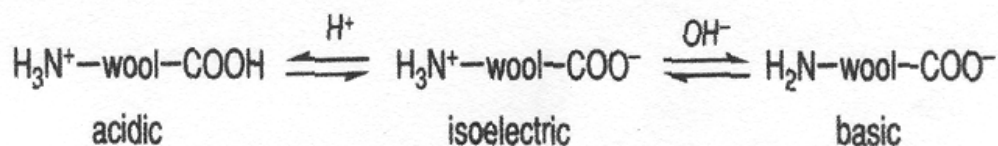
La *tintura de la lana con colorantes ácidos* se realiza, generalmente, a ebullición, durante una hora o más, en presencia de ácido acético, fórmico o sulfúrico, según el tipo de colorante utilizado.

El *carbonizado* de las telas de lana consiste en tratarla con ácido sulfúrico diluido, con el fin de atacar los restos celulósicos de vegetales que no fueron retirados en el cardado y en otras operaciones de la hilatura.

Por acción de los ácidos puede producirse *hidrólisis* de los *enlaces peptídicos* de la queratina, con pérdida de peso y disminución de la resistencia a la tracción de la fibra de lana. La solubilidad en alcali y en urea bisulfito aumenta para aquellas lanas que han sufrido daño por hidrólisis ácida. El tratamiento de la lana con soluciones ácidas en caliente produce hidrólisis total, con liberación de aminoácidos, y es el primer paso de muchas técnicas analíticas para determinar la composición de la queratina y en general de las proteínas.

La lana contiene grupos ácidos y básicos y por tanto se comporta como un *anfólito*. En solución acuosa, el aumento de acidez, da como resultado que los *aniones carboxilo* disminuyan (especialmente los de las cadenas laterales del ácido glutámico y ácido aspártico y los de los grupos terminales), aumenten los *grupos carboxilos no disociados* y se protonicen los *grupos amino neutros*.

Por otra parte cuando la solución se hace alcalina disminuyen los *grupos carboxilos no disociados*, aumentan los aniones carboxilo y los *grupos aminos protonizados* pierden su carga positiva y pasan a su estado no ionizado (*ver "Curvas de Titulación" de aminoácidos y proteínas*).



La resistencia a la tracción de la fibra es debida en gran medida a la interacción entre grupos con cargas eléctricas opuestas. La absorción de *ácidos fuertes* reduce esa cohesión al sustituir los aniones carboxilo por grupos carboxilo neutros y, por tanto, la resistencia a la tracción y a la abrasión de la fibra disminuye.

En contraste con los ácidos minerales fuertes, los ácidos orgánicos débiles no son capaces de protonizar con igual intensidad a los aniones carboxilo. Forman sin embargo *enlaces hidrógeno* con los grupos peptídicos y otros grupos y de esta forma producen el hinchamiento de la fibra. El *ácido fórmico* es especialmente efectivo en este sentido: a saturación la lana absorbe cinco veces más ácido fórmico que agua. Los colorantes ácidos son rápidamente absorbidos por la lana desde soluciones de ácido fórmico a temperatura ambiente.

Los grupos *peptídicos* y *amido* de las proteínas son los más atacados por los ácidos (*la asparagina, y la glutamina tienen cadenas laterales con grupos amido*). El grado de ataque

depende de la severidad de las condiciones empleadas. Durante el procesamiento de la lana, como en las operaciones de tintura y de "carbonizado", se trata de minimizar la hidrólisis ácida. Sin embargo con fines analíticos y de investigación se requiere generalmente una hidrólisis completa.

Los grupos *amido* primarios de los "residuos" de *asparagina* y *glutamina* son hidrolizados mucho más rápido que los enlaces peptídicos, como se puede comprobar por la liberación de amoníaco que se produce en las primeras etapas de la hidrólisis ácida. El ataque a los enlaces peptídicos no se produce tampoco al azar: algunos son atacados más rápidamente que otros. Por ejemplo, aquellos adyacentes a "residuos" de ácido aspártico son particularmente sensibles.

Se ha observado que los tensoactivos aniónicos, tales como los alquil sulfonatos o alquil sulfatos de larga cadena promueven o catalizan la hidrólisis de la lana. En cambio los tensoactivos catiónicos tienen un efecto contrario. Los tensoactivos no-iónicos no ejercerían ninguna acción. Se piensa que la absorción de los tensoactivos aniónicos producen una disminución del pH interno de la fibra con un aumento del ataque ácido.

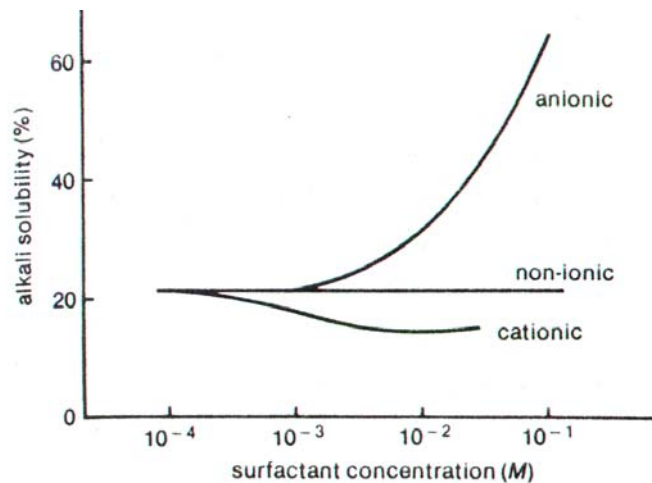


Figura 3.16

La tintura de la lana con colorantes ácidos se realiza a alrededor de pH 3.0 para los colorantes de buena igualación (*Grupo 1*), pH 6.0 para los colorantes batán o de buena afinidad (*Grupo 3*) y pH 4.5 para colorantes intermedios del *Grupo 2*. Los ácidos empleados son el ácido sulfúrico, el fórmico y el acético.

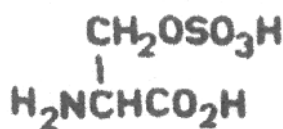
Para minimizar el ataque a la lana durante la tintura con colorantes ácidos se consideran condiciones óptimas pH 2.6-4.0, temperaturas menores a 100°C y tiempos de tintura cortos. Para la mayor parte de los tonos, condiciones requeridas, etc., estas condiciones no son fáciles de cumplir.

Los proceso *oxidativos* para el blanqueo o para tratamientos antiafieltrantes, aumentan la susceptibilidad de la lana a los ataques ácidos. Por tanto será necesario un cuidadoso control del pH durante la tintura con colorantes ácidos de lanas que han sufrido un proceso de blanqueo oxidativo.

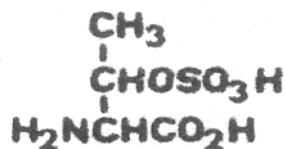
En el "*carbonizado*", la lana es tratada con ácido sulfúrico diluido, p. ej. al 5%, con un "*pick-up*" generalmente del 65%. Luego es secada a 65-90 °C lo que produce una concentración del ácido. Se hace luego un "shock" térmico a 125°C durante 1 minuto para "carbonizar" a la materia celulósica vegetal ("*baking*").

La tela de lana se pasa luego entre rodillos a presión, para pulverizar los restos celulósicos carbonizados y eliminarlos más fácilmente en un lavado posterior. En este lavado también se neutralizan los restos de ácido.

La lana "sobre carbonizada" puede perder hasta un 20 % de su peso por hidrólisis excesiva, pierde resistencia a la abrasión y es difícil de teñir pues se introducen grupos sulfato que, al ser fuertemente aniónicos, repelen al *anión colorante* impidiendo su entrada al interior de la fibra.



O-serina hidrosulfato



O-treonina hidrosulfato

Cuando lo que justamente se busca es impartirle a la lana *resistencia al teñido*, se realiza una *sulfatación controlada* con ácido sulfúrico (21°C durante 30 segundos, con enjuague inmediato). Con este fin puede usarse también ácido sulfámico. Luego de este tratamiento la lana adquiere también una mayor resistencia al fuego.

La reacción del ácido nitroso con la lana se consideró en su momento de importancia práctica pues permite la formación de sales de diazonio y la copulación con bifenol o aminas aromáticas para producir colorantes azoicos in situ. Como las sales de diazonio se destruyen con la luz, existe un método de estampación basado en la exposición a la luz de determinadas partes del diseño antes del tratamiento con fenoles o aminas aromáticas.

9.11.0- LA ACILACIÓN

Se han utilizado cuatro tipos de reactivos para *acilar* lana: anhídridos, cloruros ácidos, ésteres y amidas. Los isocianatos y los isotiocianatos, si bien no son estrictamente agentes de acilación, también reaccionan con los mismos tipos de cadenas laterales de proteínas.

Los "residuos" de lisina, arginina, histidina, serina, treonina, tirosina y cisteína son todos pasibles de sufrir *acilación*. La determinación de los lugares de *acilación* es muy difícil. Sin embargo el gran aumento de peso de la lana acilada en condiciones intensas, indica que la mayor parte de los "residuos" son acilados.

La acilación altera el balance de cargas electrostáticas en la lana, reemplaza dadores de enlaces de hidrógeno por aceptores e introduce interacciones hidrofóbicas adicionales. Todo esto altera las propiedades mecánicas y tintóreas de la fibra.

La introducción de grupos acilo de gran tamaño aumenta la resistencia de la lana a las soluciones ácidas y alcalinas, seguramente porque convierten a la lana de una fibra hidrofílica en una hidrofóbica.

La acilación de los grupos básicos de la queratina dificulta la entrada de aniones colorantes y por tanto dificulta la tintura de la lana con colorantes ácidos.

La introducción de grupos *acetilo* hace a la lana más fácil de estirar en agua mientras que la introducción de grupos *benzoilo* produce el efecto contrario.

La introducción de grupos benzoilo o fenilcarbamilos produce un aumento dramático de la facilidad del fijado dimensional de las telas de lana.

Se ha estudiado mucho la acilación de lana con anhídrido acético a ebullición para lograr lanas resistentes al teñido. Mediante el tratamiento con una mezcla de anhídrido acético, ácido acético y pequeñas cantidades de ácido sulfúrico y *N,N*-dimetilanihida se obtienen buenas resistencias al teñido. Esto es debido más a la sulfatación de los grupos amino e hidroxilo que a la acetilación de los grupos amino. La acción de agentes de acilación bifuncionales probablemente introduce "crosslinking"

9.12.0- LA ESTERIFICACIÓN

La lana tiene un relativamente alto contenido de grupos carboxílicos (*aprox. 800 μmoles/g*) que pertenecen principalmente a las cadenas laterales de los "residuos" de ácido aspártico y glutámico.

Según el pH a que estuvo sometida la lana, alguno o todos de estos grupos carboxílicos están presentes como aniones carboxílicos, contrabalanceados eléctricamente por igual número de grupos básicos cargados positivamente. La interacción electrostática entre estos grupos cargados influye en las propiedades de la lana y cualquier reacción que modifique este balance modificará también estas propiedades. La rigidez en agua de una fibra esterificada decrece notoriamente.

La *esterificación* de los grupos carboxílicos es una forma de modificar las propiedades de la lana. La esterificación con metanol puede realizarse a temperatura ambiente, en presencia de ácido clorhídrico 0.1 M como catalizador. La esterificación con otros alcoholes requiere mayores temperaturas.

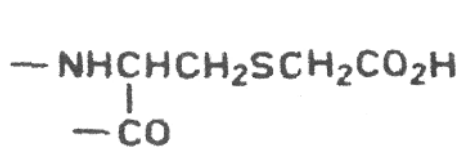
El diazometano, la epiclorhidrina, el sulfato de dimetilo, el bromuro de metilo y el yoduro de metilo se han utilizado como agentes de esterificación.

Los grupos éster formados son relativamente estables a los ácidos diluïdos pero son rápidamente hidrolizados por los álcalis.

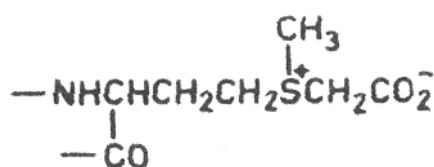
Al bloquear los grupos carboxílicos, la esterificación elimina la competencia por los grupos básicos o lugares catiónicos que pueden encontrar los aniones colorantes. De esta forma aumenta la afinidad por los colorantes y la solidez al lavado de la tintura final. Sin embargo no puede considerarse la esterificación como un asistente de tintura práctico, pues afecta negativamente las propiedades mecánicas de la lana

9.13.0- LA ALQUILACIÓN y LA ARILACIÓN

Varias cadenas laterales de la queratina pueden ser modificadas por *alquilación* o *arilación*. Tratamientos prolongados con *bromuro o ioduro de metilo* introduce grandes cantidades de grupos metilo en la lana (*hasta 800-1000 μmoles/g*). Los "residuos de *cisteina* y de *metionina* reaccionan rápidamente, a pH 8.0, con *ácido iodoacético*, para dar los derivados *S-carboximetilados* (I y II respectivamente):



I



II

Entre otros compuestos usados para la alquilación y arilación de la queratina se encuentran las *vinil sulfonas*. Los colorantes que contienen grupos *vinil sulfona* o sus precursores son colorantes reactivos muy importantes para lana, formando enlaces covalentes con los "residuos" de *cisteína*, *lisina* e *histidina*.

La *bencilación* de la lana mejora su resistencia al ataque de la polilla. La *cianoetilación*, utilizando cianuro de potasio como catalizador mejora algo la resistencia al afieltrado y la resistencia a la tracción. El tratamiento con *acrilonitrilo* en presencia de hidróxido de sodio produce un aumento en la subida tanto de los colorantes ácidos como de los básicos. La lana *dinitrofenilada* ha sido estudiada con detalle para dilucidar problemas estructurales teóricos de la queratina.

9.14.0- LA ACCIÓN DEL AGUA Y EL CALOR

La fibra de lana está expuesta a la acción del agua y el calor desde que emerge del folículo en la piel del ovino y luego durante todo su crecimiento. Pero es en las diferentes etapas del procesamiento industrial donde está sometida a las acciones más severas. El lavado, el batanado, la tintura, el fijado y el secado son quizás las más agresivas. Pero los artículos finales, durante su uso, también están frecuentemente sometidos a la acción del agua y el calor, al lavarlos, secarlos y plancharlos. El módulo torsional de la fibra es especialmente afectado por el contenido de humedad.

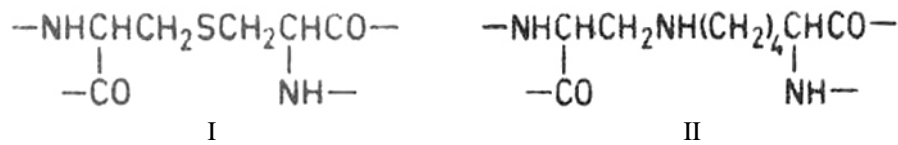
La acción del agua y el calor sobre la lana producen cambios químicos en su estructura que resultan en una disminución de la solubilidad según el *ensayo urea- bisulfito*. Por tanto, los ensayos que determinan la disminución en la solubilidad de la queratina son útiles para detectar los daños causados. Las causas de esta disminución de solubilidad es aún motivo de controversia: algunos autores la atribuyen a la formación de "crosslinking" por formación de enlaces puente de *lantionina* y *lisinoalanina*. Otros investigadores lo atribuyen a un complejo cambio estructural de las proteínas de la lana.

Antes de cualquier tratamiento térmico a que vaya a someterse la lana es muy importante conocer el pH y la humedad que posee la materia prima antes de ser procesada.

9.15.0- TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN HÚMEDO SIN TENSIÓN

Los tratamientos hidrotérmicos de la lana a 100 -140 °C causan importantes cambios en sus propiedades tensiles. Entre 128 y 140 °C hay una marcada disminución del largo conocida como "*supercontracción*". Por encima de 140 °C se produce una degradación de la estructura y debilitamiento de la fibra. El comportamiento frente al arrugado de una tela de lana depende de su historia previa. Hay por ejemplo una disminución progresiva del arrugado si la tela es mantenida a 20 °C y 65 % de humedad relativa ("*ageing*"). Telas, con un regain de 14 a 18 %, mantenidas a 100°C por 1-2 horas ("*annealing*"), muestran una capacidad de recuperación al arrugado similar al que se obtiene cuando se las mantiene a 20 °C y 65 % de humedad relativa durante tiempos prolongados. Esta capacidad de recuperación al arrugado desaparece mojándola o planchándola al vapor. Aunque los cambios químicos que ocurren en la lana durante el "*ageing*" y el "*annealing*" no están claramente establecidos hay evidencias suficientes como para atribuirlos principalmente a un reubicación de los *enlaces hidrógenos* y en menor medida a cambios en los "residuos" de cistina.

Cuando la lana se calienta en agua a 55°C comienza a desprenderse lentamente sulfuro de hidrógeno y a 100°C amoníaco. La formación de amoníaco es acompañada por el aumento de grupos *tiol* en la queratina, por destrucción de *enlaces disulfuro de la cistina*. Si la lana se mantiene en agua a ebullición a 100°C aparecen "residuos" de *lantionina (I)* y *lisinoalanina (II)*.



Este resultado se acentúa en presencia de *álcali* y por un tratamiento prolongado a ebullición o en vapor de agua supercalentado.

9.16- TRATAMIENTOS TÉRMICOS SECOS SIN TENSIÓN

Los efectos del calor sobre la lana en seco, o a "regain" normales, se han estudiado por varios investigadores. El calentamiento en seco de la lana produce menos daño que en húmedo. La extensión del daño dependerá de si la lana es calentada en un ambiente cerrado o abierto. En un sistema cerrado la ausencia de oxígeno disminuye los cambios oxidativos aunque el agua confinada y los productos de pirólisis pueden promover la descomposición por otros mecanismos químicos. En un sistema abierto hay acceso de oxígeno, pero se liberan los productos de la pirólisis.

En sistema abierto a 120°C, se produce poco daño en los primeros minutos. Tratamientos más prolongados producen una disminución de la solubilidad en urea / bisulfito, seguramente por formación de "crosslinking".

A 140-170°C la lana comienza a cambiar de color gradualmente, del amarillo al marrón, la solubilidad en urea / bisulfito decrece pero la solubilidad en álcali aumenta, debido seguramente a que comienzan a destruirse enlaces peptídicos.

Por encima de 170°C comienzan a producirse ya daños importantes y a 250°C se produce una pirólisis general. El estudio de los productos desprendidos en la pirólisis, por cromatografía gaseosa, suministra un método para identificar la lana frente a otras fibras textiles.

Se han usado varios agentes de "crosslinking" para mejorar la resistencia térmica de la lana. Se supone que el aumento del "crosslinking" compensaría la destrucción de los *enlaces disulfuro* destruidos por el calor. El tratamiento con *paraformaldehído* en fase vapor y en presencia de catalizadores ácidos es uno de los procedimientos que aparentemente ha dado mejores resultados.

10.17.0- TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN HÚMEDO CON TENSIÓN

Los *diagramas esfuerzo-deformación (DED)* o *carga-extensión (DCE)* ("*stress-strain curve*") de la lana varían según la temperatura y la humedad (*ver figuras 3.17 a 3.20*).

En la zona del *DCE*, hasta un 2% de extensión de la lana - donde existe elasticidad perfecta y se cumple la *ley de Hooke* - la extensión es proporcional a la carga y la queratina está en su *forma α helicoidal*. Los enlaces hidrógenos y disulfuro mantienen la estructura helicoidal y el alineamiento entre las cadenas peptídicas con cierto grado de cristalinidad. Esto hace que la lana en este tramo del *DED* tenga una *recuperación elástica perfecta*: cuando la carga es suprimida la fibra recupera su longitud original en forma "instantánea".

Al aumentar la carga (*en g, kg, lbs, etc.*), o la tensión (*en g/cm², ó g/denier, etc.*), se pasa el punto conocido como "*límite de elasticidad*" y comienzan a romperse primero los enlaces hidrógeno y luego los disulfuro. Tenemos entonces una *zona de transición* entre la queratina *α* y la *β*, donde con pequeñas cargas o tensiones se obtienen grandes deformaciones (entre el 2 y el

30 % de extensión). Si la carga o la tensión es suprimida los enlaces hidrógeno y los disulfuro se vuelven a formar, la queratina vuelve a su forma α *helicoïdal*. La fibra recupera su longitud original, no en forma instantánea sino en un determinado tiempo. Se dice entonces que tiene *elasticidad imperfecta* o que sufre una deformación temporaria o que presenta "creep" primario.

En esta zona se pueden identificar dos temperaturas de transición, T_1 y T_2 , que dependerán del contenido de humedad de la lana, pues hay un *DED* para cada contenido de humedad, (ver Figuras 3.18 y 3.20). T_1 es la temperatura en que comienzan a romperse los enlaces hidrógeno (para un dado contenido de humedad) y T_2 es la temperatura de ruptura de los enlaces disulfuro.

Si seguimos aumentando la carga o la tensión, se pasa un punto conocido como "punto de fluencia" ("yield point"), luego del cual toda la queratina está en su forma β estirada por la ruptura de gran cantidad de enlaces hidrógeno y disulfuro. Acá la fibra recupera parte de su resistencia a la tracción. Al aumentar la carga comienzan a romperse enlaces peptídicos. Si suprimimos la carga o tensión, la fibra ya no recupera su longitud original sino que queda con una deformación permanente o "creep" secundario.

El conocimiento de los *DCE*, el contenido de humedad de la tela, las T_1 y T_2 correspondientes a ese contenido de humedad y el tiempo de duración del tratamiento, es fundamental para el éxito de las operaciones de terminación o acabado de las telas de lana. Debemos, sin embargo, tener muy en cuenta que para un tejido el *DCE* será distinto que para una fibra individual.

En la terminación lanera, desde el punto de vista práctico, se pueden distinguir tres tipos de estabilización o "fijado dimensional" de las telas, todas realizadas por encima del "límite de elasticidad" de la fibra, es decir, en la zona de transición del *DED* que corresponda al contenido de humedad o "regain" de la tela y un rango de temperatura:

1) La "estabilización cohesiva", que para una tela con 35% de "regain" se produce bajo tensión, entre los 20°C y los 65°C (es decir entre las T_1 y T_2 correspondientes aproximadamente a ese contenido de humedad), durante tiempos relativamente cortos, para luego enfriar la tela, siempre bajo tensión, a 20°C, es decir a temperatura ambiente. Esta estabilización se produce fundamentalmente por la ruptura de enlaces hidrógeno entre 20°C y 65°C, que luego se vuelven a formar al enfriar nuevamente, bajo tensión, a 20°C

En general cuando solo se le quiere impartir a la tela una cierta estabilidad, una dada "mano" y un buen aspecto de superficie, este es el tratamiento elegido. Este tipo de estabilización ocurre durante el secado en "rama" y en el planchado (rotativo y entre cartones). Esta estabilización se mantendrá mientras la tela no vuelva a ser calentada por encima de 20°C. El sastre o el confeccionista, a veces con un nuevo planchado húmedo en caliente, traspasan esa temperatura y este fijado cohesivo se pierde, dando lugar a reclamaciones.

2) La "estabilización temporaria", siempre hablando de una tela con 35% de "regain", se produciría bajo tensión entre 65°C y 100°C (es decir, ya ligeramente por encima de T_2), durante tiempos relativamente cortos, y enfriando luego, también bajo tensión, a 20°C. En este caso este "fijado temporario" se mantiene aún calentando por encima de 20°C, pero se pierde si calentamos por encima de 100°C. En este caso, además de ruptura y recreación de enlaces hidrógeno, también se rompen algunos enlaces disulfuro. El "potting" de telas de hilado cardado y algún tipo de "decatizado húmedo" son ejemplos de este tipo de fijado.

3) La ***“estabilización permanente”***, siempre hablando de una tela en las mismas condiciones de humedad del 35%, se produciría calentando bajo tensión, entre 65°C y 100°C durante tiempos más prolongados o entre 65°C y temperaturas superiores a 100°C (*p.ej. 120°C*) durante tiempos breves o brevísimos, para luego enfriar bajo tensión a temperatura ambiente. En este caso la fijación permanente no se pierde aún si la tela se vuelve a calentar por encima de 100°C. En este caso, además de la ruptura y recreación de enlaces hidrógeno hay una importante participación de los enlaces disulfuro. El ***“crabbing”*** y el ***“decatizado en fase vapor”*** serían ejemplos de este tipo de fijado.

En todos los casos planteados se supuso un pH neutro para la tela húmeda a 35% de “regain”, pero se requiere menos trabajo para estirar una tela de lana a pH ácido o alcalino que a pH neutro (ver fig. 18.2, páf. 290). El agregado de ácido induce la formación de -RCOOH a expensas de los grupos -RCOO^- . Esto altera la interacción electrostática entre grupos de la molécula de las queratinas y disminuye la resistencia a la tracción de la fibra. Los álcalis atacan primero a los enlaces disulfuro y luego a los peptídicos produciendo también una reducción de la resistencia a la tracción de la fibra. Es poco entonces todo lo que se insista sobre la importancia que tiene, en la terminación lanera, el control estricto del ***contenido de humedad de las telas y su pH, los tiempos y las temperaturas de los procesos.***

Otro fenómeno interesante que se explica por la rotura y restablecimiento de los enlaces H y de los enlaces disulfuro, es el de la ***“relajación bajo tensión”*** (o ***“stress relaxation”***). Cuando una tela es mantenida a extensión constante, a medida que pasa el tiempo se produce una disminución gradual de la tensión aplicada. Por otra parte, si la tela se mantiene bajo una carga constante, a medida que pasa el tiempo va alcanzando gradualmente una extensión límite. A este fenómeno se le suele llamar “creep”.

El módulo de elasticidad torsional (E_t) de las fibras de lana depende mucho del contenido de agua de la fibra. P. ej. la relación del $E_{t \text{ seco}}$ al $E_{t \text{ húmedo}}$ es de 10 a 1. Los cambios químicos introducidos en la queratina pueden, entonces, afectar indirectamente las propiedades torsionales de la fibra cuando afecten la absorción de agua de la misma.

DIAGRAMA CARGA EXTENSIÓN (DCE)

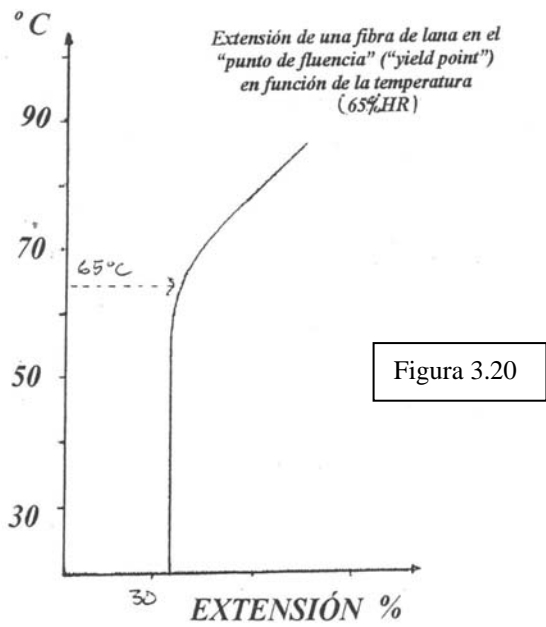
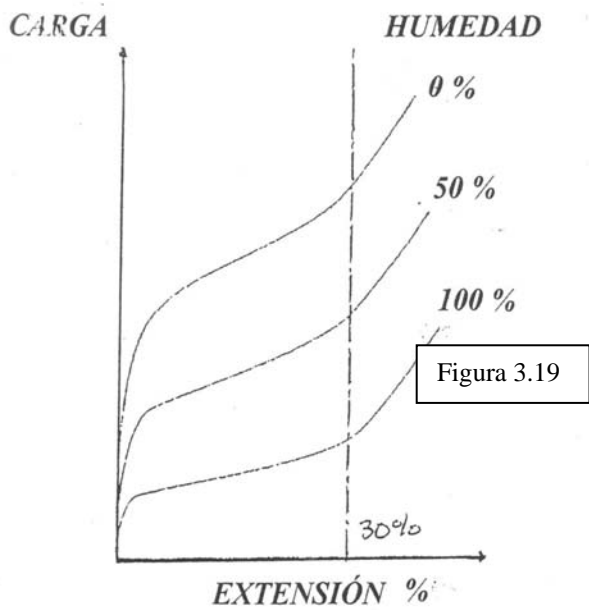
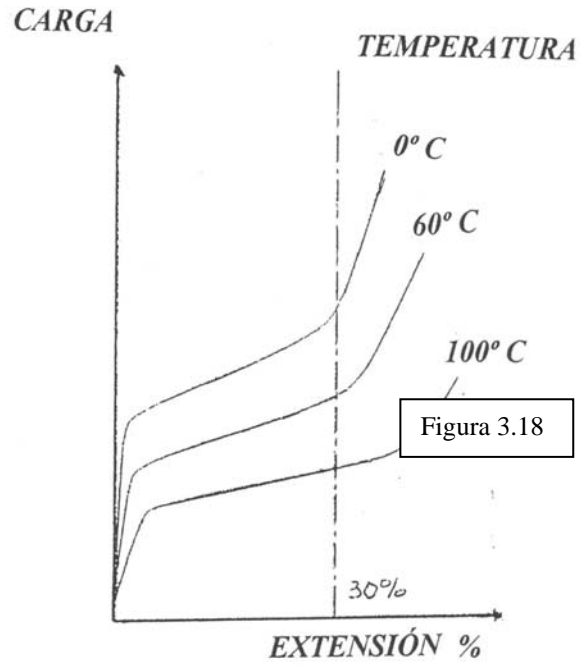
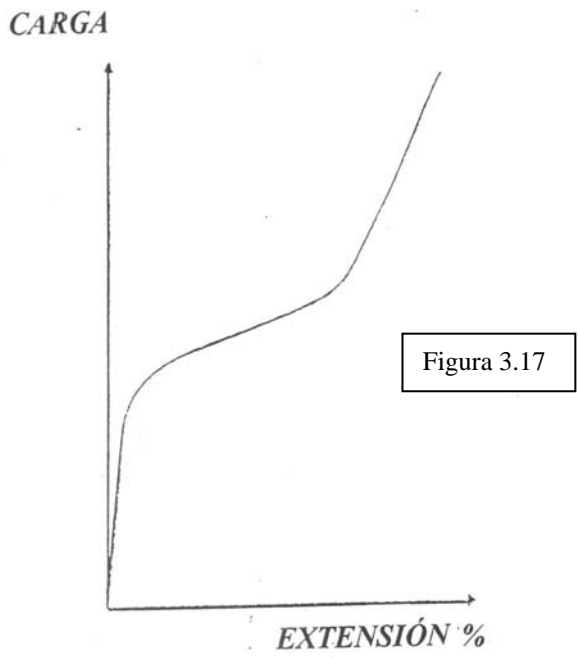


TABLA 3.13 - MODIFICACIONES QUÍMICAS DE LAS QUERATINAS QUE INCIDEN EN EL FIJADO DIMENSIONAL DE LA LANA

<i>MODIFICACIÓN QUÍMICA</i>	<i>AGENTE QUÍMICO</i>	<i>(+) FAVORABLE (-) DESFAVORABLE</i>	<i>MECANISMO</i>
<i>REDUCCIÓN</i>	<i>Tioglicolato de amonio Sesquisulfato de mono etanolamida (MEAS)</i>	<i>+</i>	<i>Clivaje de enlaces disulfuro. Formación de aniones tiol (-RS)</i>
<i>ESTERIFICACIÓN</i>	<i>Metanol + HCl 0,1 M</i>	<i>+</i>	<i>Predominan los grupos catiónicos Aumento del pH interno de la proteína por efecto Donnan Aumento de grupos tiol</i>
<i>OXIDACIÓN</i>	<i>Hipoclorito de sodio, Cloro, Peróxido de hidrógeno, etc.</i>	<i>-</i>	<i>Oxidación de grupos tiol</i>
<i>ACILACIÓN (moderada)</i>	<i>Anhidridos y halogenuros de ácido</i>	<i>-</i>	<i>Predominan los grupos aniónicos Disminución del pH interno de la proteína por efecto Donnan Disminuyen los grupos tiol</i>
<i>ACILACIÓN (intensa)</i>	<i>Anhidridos o halogenuros de ácido con grupos acilos voluminosos como grupos benzoilos.</i>	<i>+</i>	<i>Aumento de la interacción hidrofóbica que no impide el fijado y luego lo estabiliza</i>
<i>INTRODUCCIÓN DE "CROSSLINKING"</i>	<i>Formaldehido y otros agentes bifuncionales</i>	<i>-</i>	<i>El aumento de "crosslinking" por enlaces diferentes a los enlaces disulfuro hace a la lana más rígida y disminuye su capacidad de fijado dimensional.</i>

NOTA: Algunos de estos tratamientos aplicados después del fijado, pueden ser beneficiosos para su estabilización.

TABLA 3.14 - MODIFICACIONES DE LAS QUERATINAS QUE INCIDEN EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE LA LANA

<i>MODIFICACIÓN</i>	<i>(+) FAVORABLE</i>	<i>MECANISMO</i>
<i>Introducción de "crosslinking"</i>	+	<i>El aumento de enlaces cruzados diferentes a los enlaces disulfuro hace a la lana más rígida y disminuye su capacidad de fijado dimensional.</i>
<i>Reposo a temperatura ambiente ("Ageing")</i>	+	<i>ver 9.15, pág. 180</i>
<i>Calentamiento a regain controlado ("Annealing")</i>	+	<i>ver 9.15, pág. 180</i>
<i>"Annealing" + "Crosslinking"</i>	++	<i>ver pág. 180 y sig.</i>

TABLA 3.15 - MODIFICACIONES DE LAS QUERATINAS QUE IMPIDEN EL AFIELTRADO DE LA LANA

<i>MODIFICACIÓN</i>	<i>(+) FAVORABLE (-) DESFAVORABLE</i>	<i>MECANISMO</i>
<i>OXIDACIÓN</i>	+	<i>Destrucción de la cutícula (ver pág. 173)</i>
<i>REDUCCIÓN</i>	+	"
<i>ALCALIS (en solución alcoholica)</i>	+	"
<i>"CROSSLINKING"</i>	+	<i>Aumento de rigidez de las telas</i>
<i>TRATAMIENTO CON POLÍMEROS</i>	+	<i>Recubrimiento de las escamas</i>
<i>AGUA CALIENTE, MEDIO ALCALINO Y AGITACIÓN MECÁNICA</i>	-	

TABLA 3.16 – MORFOLOGÍA DE LA FIBRA DE LANA

<p>Células de la CUTÍCULA Aprox. 10% del total de la fibra. Contiene queratinas con alto contenido de cistina</p>	<p>EPICUTÍCULA Aprox. 0,1 % del total de la cutícula. Espesor 0,003 – 0,006 μm</p>	12 % de cistina. Hidrófoba. Resiste la acción enzimática.
	<p>EXOCUTÍCULA Aprox. 60 % del total de la cutícula. Espesor 0,3 μm</p>	(A) 35% de cistina, (B) 15% de cistina. Resiste la acción enzimática
	<p>ENDOCUTÍCULA Aprox. 40 % del total de la cutícula. Espesor 0,2 μm</p>	3% de cistina. <i>No</i> resiste la acción enzimática.
<p>Células de la CORTEZA Células con forma de huso, largo 100 μm, diámetro 3-6 μm, aprox. Aprox. 87% del total de la fibra</p>	<p>ORTOCORTEX Se ubica por fuera del rizo. Aprox. 50% del total de la corteza</p>	Las <i>microfibrillas</i> (*) están más empaquetadas
	<p>PARACORTEX Se ubica por dentro del rizo. Aprox. 50% del total de la corteza</p>	Las <i>microfibrillas</i> (*) están menos empaquetadas
	<p>MESOCORTEX Cuando existe se ubica entre orto y paracortex</p>	Disposición intermedia entre las dos anteriores
<p>Complejo INTERCELULAR Aprox. 3,3 % del total de la fibra. Espesor 0,025 μm aprox.</p>	<p>CAPA δ Se colorea fuertemente por tratamiento reductor y tinción con sales de metales pesados. El espesor va de no ser visible a 0,015 μm aprox. Está compuesta de proteínas “no-queratínicas” con algo de “crosslinking”. Se ubica como “sandwich” entre dos capas β</p>	Única fase continua de la fibra. Separa a las fibras de la cutícula y de la corteza y a estas entre sí. Es atacable parcialmente por enzimas y por ácido fórmico. Este tratamiento permite separar a las células de la cutícula y de la corteza.
	<p>CAPAS β No se colorea como la capa δ. Está formada por componentes lipídicos</p>	Es la parte de la fibra de menor resistencia mecánica y muy sensible a la abrasión. También sufre con las tinturas prolongadas a ebullición y bajo Ph
	<p>“Membrana Resistente” Recubre a las células corticales e incluye a la epicutícula. Es relativamente inerte: es la última en disolverse cuando se trata la fibra con agentes oxidantes, reductores, ácidos, álcalis y enzimas.</p>	Los tratamientos con solventes especiales y con formaldehído producen cambios en el Complejo Intercelular que mejoran las propiedades mecánicas de la fibra.
<p>Células de la MÉDULA Aparecen esporádicamente en algunas fibras</p>	Cuando aparecen ocupan el eje de las fibras. En general dejan espacios llenos de aire que refractan la luz y hace que las “fibras meduladas” se destaquen claramente de las otras. Si hay muchas en una partida de lana, la calidad de esa partida disminuye.	

(*) Las *microfibrillas* están formadas por queratinas de bajo contenido de azufre y poseen estructura cristalina. Están empaquetadas en una *matriz amorfa* que está compuesta de queratinas de alto contenido en azufre. Largo 10 μm , diámetro 7 μm aprox.

10.0.0- APENDICE 1: Aminoácidos

Los aminoácidos son compuestos orgánicos que contienen uno o varios grupos *amino* $-NH_2$ (o un grupo cíclico *imino* $>NH$) y uno o varios grupos *carboxílico* $-COOH$. Tienen por tanto características tanto básicas como ácidas. De los aproximadamente 80 aminoácidos que se han encontrado en los seres vivos solo alrededor de 20 forman parte de las moléculas poliméricas conocidas como proteínas. Los *aminoácidos* se caracterizan por: **1)** sus *pK* o constantes de disociación correspondientes a sus diferentes grupos funcionales titulables, **2)** su *punto isoeléctrico*, o *pH en el que no hay migración*, en un campo eléctrico, del *ión bipolar* en que se puede transformar toda molécula de aminoácido, **3)** la *desviación del plano de luz polarizada* (generalmente de la longitud de onda que corresponde a la línea D del espectro del sodio) y, **4)** su *solubilidad* en agua.

Como pueden haber más de un grupo *amino* $-NH_2$ en la molécula y pueden ocupar varias posiciones en ella, consideraremos solo aquellos en posición α , es decir aquellos unidos al átomo de carbono *adyacente* al grupo *carboxílico*. Todos los *aminoácidos* de las *proteínas* y la mayor parte de los que se encuentran en la naturaleza, son *α -aminoácidos*.

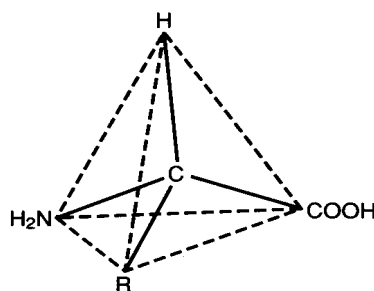


Figura 3.21 - α -AMINOÁCIDO

Excepto cuando $R = H$, todos los grupos unidos al carbono α son diferentes y ese carbono será asimétrico y el aminoácido tendrá dos formas ópticamente activas. Solo una de las dos formas ocurren naturalmente: los *L- α -aminoácidos*. Por síntesis química se obtienen mezclas racémicas.

Todos los aminoácidos son sólidos cristalinos que funden a altas temperaturas ($>200^\circ C$) y con diferentes grados de descomposición. Son solubles en agua pero con diferentes grados de solubilidad. La solubilidad en agua aumenta cuando la solución se hace ácida o básica. La mayoría son insolubles en solventes orgánicos.

En solución acuosa, los aminoácidos presentan disociación iónica igual que una sal inorgánica (p.ej. NaCl), pero a diferencia de estas, en que los iones pueden migrar libremente cuando se aplica un campo eléctrico, un aminoácido ionizado permanece intacto y eléctricamente neutro. Un aminoácido sólo puede migrar, si su carga positiva o negativa se hace dominante. Esto puede ocurrir cuando la solución se aparta de la neutralidad y el pH se hace ácido o básico. Ese comportamiento se denomina *ANFÓTERO*. El *pH* en el punto de neutralidad eléctrica se denomina *punto isoeléctrico*, es decir el *pH* al cual la molécula de aminoácido no posee carga neta. El estado iónico de un aminoácido en el punto isoeléctrico, entonces, es el de un *ión dipolar* sin carga neta o "*zwitterion*". La migración de los aminoácidos puede ser estudiada y sus puntos isoeléctricos determinados por la técnica de *electroforesis*. Si bien cada punto isoeléctrico es el *pH* en el punto de neutralidad, *ninguno de estos coincide con el del agua*, pues es necesario tener en cuenta la disociación parcial de cada grupo iónico.

$$K = [H^+][A^-] / [HA]$$

K será igual a $[H^+]$ cuando $[A^-] = [HA]$, es decir cuando el grupo disociable esté un 50% disociado. El pH en este punto corresponde al pK del grupo disociable ($pK = 1 / \log K = -\log K$). Los pK de los aminoácidos pueden ser determinados de una curva de titulación. Un aminoácido puede tener más de un pK , correspondiendo cada uno a cada grupo disociable dentro de la molécula de aminoácido. El punto de neutralidad eléctrica, o punto isoeléctrico del aminoácido, debe estar en el valor medio entre los puntos de carga eléctrica igual y opuesta de cada uno de sus dos grupos disociables, p.ej, para un aminoácido con dos grupos disociables:

$$pH_{\text{isoeléctrico}} = (pK_1 + pK_2) / 2$$

Por ejemplo, el pK del **ácido acético**, que no tiene grupos amino, es **4,7**; el pK de la **metilamina**, que no tiene grupo carboxílico es **10,6** mientras. Para el aminoácido **glicina**, que posee ambos grupos, el pK_1 es **2,4** y el pK_2 es **9,6**; entonces:

$$pH_{\text{isoeléctrico}} \text{ de la glicina} = (2,4 + 9,6) / 2 = 6,0$$

En el caso de aminoácidos con dos grupos carboxílicos y uno amino (como p.ej. el **ácido glutámico**) o dos grupos amino y un carboxilo (como p.ej. la **lisina**), la influencia sobre el pK del grupo disociable que está en minoría puede ser considerado despreciable. P.ej.:

TABLA 3.17

	pK_1	pK_2	pK_3	$pH_{\text{isoeléctrico}} = (pK' + pK'') / 2$
Ácido Glutámico	2,16	4,32	9,96	3,24 [$pH_{\text{isoeléctrico}} = (pK_1 + pK_2) / 2$]
Lisina	2,16	9,18	10,79	9,98 [$pH_{\text{isoeléctrico}} = (pK_2 + pK_3) / 2$]

En el punto isoeléctrico, las moléculas de aminoácido actúan como dipolos ("zwitterions") con atracción electrostática entre ellas, tendiendo a acercarse, orientarse y "empaquetarse". Esto favorece la formación de enlaces hidrógeno con lo que la unión y "empaquetado" se hace más fuerte. Esto explica que los aminoácidos, en su punto isoeléctrico, tienen muy baja solubilidad en agua y al precipitar lo hacen en forma cristalina. Al fundir estos cristales de aminoácidos se produce algo de descomposición. Esto sugiere que la atracción electrostática de los dipolos combinada con los enlaces hidrógenos da un enlace de energía similar al enlace covalente.

CURVAS DE TITULACIÓN DE LOS AMINOÁCIDOS Y LAS PROTEÍNAS

Así como los aminoácidos son "zwitterions", con grupos ácidos y básicos en su molécula, los péptidos y las proteínas también pueden tener grupos ácidos o básicos libres en sus cadenas laterales, p.ej. los "residuos" de ácido glutámico tienen un grupo carboxílico libre, los de lisina un grupo amino y los de tirosina un grupo hidroxifenólico.

En soluciones ácidas los grupos básicos libres aceptan protones y en soluciones alcalinas los grupos ácidos se disocian liberando protones. Los enlaces peptídicos que unen cada aminoácido, en general, no son hidrolizados a temperatura ambiente (dependiendo del pH y el tiempo de contacto) y así los grupos α -amino y los α -carboxílicos de cada aminoácido no funcionan como bases o ácidos a menos que sean grupos terminales de cadena. La cantidad de iones hidrógeno que se combinen con las proteínas o los péptidos dependerá del pH de la solución y como los grupos titulables son bases o ácidos débiles se produce un efecto tampón o "buffer" frente a la adición de base o ácido.

Una curva de titulación, obtenida graficando el pH de la solución contra la cantidad de ácido o base agregado, exhibe una inflexión en cada una de las regiones correspondientes donde se

ejerce la acción tampón o "buffer". En la figura se indican los grupos de las cadenas laterales que se titulan a cada pH.

Estos grupos titulables en las cadenas laterales pueden estar ocultos dentro de la estructura de la proteína y no ser afectados por el pH del entorno exterior. Si la estructura de la proteína se cambia (por ejemplo en el caso de la queratina estirando o sea pasando de la estructura α a la β , o calentando, o agregando tensoactivos, etc.), entonces más de grupos básicos y ácidos "enmascarados" quedan expuestos y las formas de las curvas de titulación cambiarán consecuentemente, debido a que más ácido o álcali de titulación serán necesarios.

También la forma de las curvas de titulación cambian marcadamente según la fuerza iónica de la solución ya que la presencia de sales, alcoholes, etc., altera el grado de ionización de los grupos titulables. Las curvas de titulación serán entonces muy útiles para suministrarnos información sobre: 1) el alcance de la acción buffer, 2) la naturaleza y cantidad de grupos ionizables en la molécula, 3) la influencia de otras sustancias (p.ej. alcoholes y sales) en la ionización de los diversos grupos, 4) una estimación del ataque químico que pueda haber sufrido la proteína y 5) una indicación de los grupos "enmascarados" y de la estructura de la proteína.

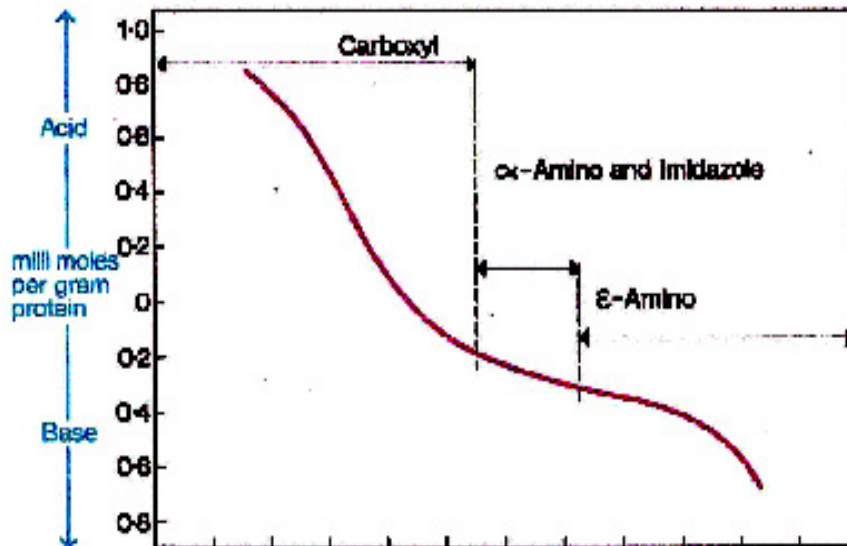


Figura 3.23 - Curva de titulación, pH vs. Cantidad de ácido o álcali

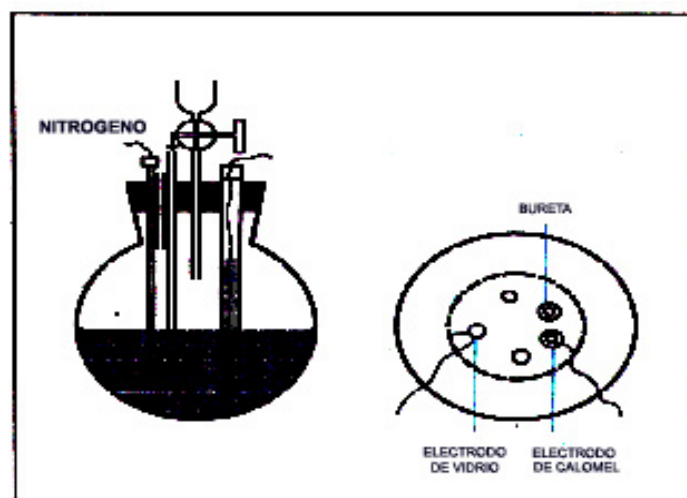


Figura 3.24 - Equipo para la de titulación de aminoácidos, péptidos y proteínas

11.0.0- BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Wool Scouring and Allied Technology", R.G.Stewart, WRONZ (Wool Research Organization of New Zealand)
- 2- "Wool Science", 1990, SCIRO, PO Box 21, Belmont Victoria 32 16 Australia
- 3- "Wool: Science and Technology", S.W. Simpson and G.Crawshaw, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>
- 4- "Wool Dyeing", Ed. D.M. Lewis, Society of Dyers and Colourists, 1992
- 5- "Introduzione al Finissaggio Laniero", M. Bona, G.B.Paravia & C.S.p.A., 10139 Torino-Corso Racconigi 16

CAPITULO IV

HILATURA DE FIBRAS DISCONTINUAS



CONTENIDO	PAGINA
1. 0. 0- Introducción.....	8
2. 0. 0- Apertura y Limpieza.....	13
3. 0. 0- Cardado.....	25
4. 0. 0- Reunión y Atenuación.....	41
5. 0. 0- Peinado.....	50
6. 0. 0- Inserción de Torsión.....	59
7. 0. 0- Bobinado y Purgado.....	72
8. 0. 0- Reunión y Retorsión.....	74
9. 0. 0- Métodos No Tradicionales de Hilatura.....	76
10.0.0- Control de Calidad de la Materia Prima.....	87
11.0.0- Propiedades de los Hilados.....	90
12.0.0- Algunos Ejercicios de Evaluación.....	98

1.0.0- INTRODUCCIÓN

Podemos definir a un *"textil"* como un artículo hecho de *fibras textiles*, ya sean estas naturales, artificiales y/o sintéticas. De acuerdo a esta definición, los hilados, los hilos, las mechas, las cuerdas y las telas, así como todos los artículos hechos con ellos, serían entonces *"textiles"*.

Pero, ¿qué es una fibra? Una fibra es un cuerpo sólido, de forma aproximadamente cilíndrica, relativamente flexible, macroscópicamente homogéneo, con una muy alta relación de sus dimensiones longitudinales a sus dimensiones transversales y con una pequeña sección transversal cuyo diámetro aparente es del orden de los micrones.

Pero, una fibra textil, ¿qué es? Es toda fibra que pueda ser hilable. ¿Y qué significa que pueda ser hilable? Significa que, con otras fibras de la misma naturaleza, sea capaz de formar un conjunto en el que todas se encuentren más o menos paralelizadas entre sí. Este conjunto, que generalmente recibe el nombre de "mecha" o "cinta", debe estar en condiciones de ser estirado y recibir torsión, sin perder cohesión, para que de esa manera se convierta en un hilado. Pero para ser hilables las fibras textiles deben tener - además de las características generales comunes a toda fibra, mencionadas arriba - una alta resistencia a la tracción y, especialmente en el caso de las fibras discontinuas, un alto índice de fricción fibra / fibra.

En las fibras naturales, como p.ej. la lana y el algodón, la *rugosidad superficial* de sus cutículas externas asegura un alto *índice de fricción fibra/fibra*. En el caso de las fibras hechas por el hombre se logra rugosidad superficial dándole a sus secciones transversales formas diferentes a la de un círculo perfecto (ver Capítulo II, "Fibras Textiles").

Por otra parte, la *resistencia a la tracción* de las fibras textiles es consecuencia de que todas ellas están constituidas por *polímeros lineales de muy alto peso molecular* (ver Capítulo II, "Fibras Textiles", Sección 3.0.0, "Estructura Química"). Si la fibra no posee estas dos propiedades fundamentales, *resistencia a la tracción* y *rugosidad superficial*, no será apta para calificar como *"fibra textil"* y no podrá formar parte de un hilado textil.

Entonces, con fibras textiles *paralelizadas* entre sí podemos formar una *"mecha"* y luego - *si se trata de fibras discontinuas* - *estirando* esa *mecha* e *insertándole torsión*, obtendremos *"hilados"* (de diferentes tipos, finos y gruesos, con más o menos torsión, etc.) que, luego, debemos *bobinar*. *El paralelizado, el estirado, la inserción de torsión y el bobinado son, entonces, las cuatro operaciones básicas de la hilatura de fibras discontinuas.*

En cambio, para producir hilados con *fibras continuas* o *"filamentos"* (como p.ej. la seda), *sólo es necesario reunir los filamentos e insertarles la torsión necesaria para que se mantengan juntos*. En algunos casos los filamentos sintéticos son *"texturizados"* y luego se les reúne e inserta torsión (ver Capítulo II, "Fibras Textiles"). *En algunos casos ese conjunto de filamentos texturizados no reciben torsión* sino que simplemente se les "enreda" unos con otros para formar el hilado multifilamento (ingl. "tangled multifilament"). Las velocidades de producción son también muy diferentes: un *hilado multifilamento* puede producirse a *5000 metros/minuto* mientras que un hilado de fibras discontinuas se produce a velocidades muchísimo más bajas (ver más adelante hilatura R/S y O/E). *En este Capítulo nos ocuparemos de la hilatura de fibras discontinuas y nos referiremos a la hilatura de fibras continuas o filamentos solo circunstancialmente.*

TABLA 4.1
PROCESO DE HILATURA DE FIBRAS CONTINUAS O FILAMENTOS

1	FUSIÓN DEL POLÍMERO O DISOLUCIÓN DEL MISMO EN SOLVENTES ADECUADOS
2	FORMACIÓN DEL FILAMENTO <i>(extrusión a través de una filera)</i>
3	SOLIDIFICACIÓN DEL FILAMENTO <i>(por enfriado, evaporación de solvente o cambio de solvente)</i>
4	ESTIRADO DE LOS FILAMENTOS <i>(generalmente en frío o "cold drawing")</i>
5	REUNIÓN DE LOS FILAMENTOS <i>(en el caso de producir un hilado multifilamento)</i>
6	TEXTURIZADO <i>(opcional)</i>
7	INSERCIÓN DE TORSIÓN <i>(en el caso de filamentos "tangled" o "enredados" no se aplica torsión)</i>
8	BOBINADO

TABLA 4.2
CARACTERÍSTICAS DE LOS HILADOS DE FIBRAS CONTINUAS O FILAMENTOS

<i>Pueden producirse con diámetros aparentes menores que los hechos con fibras discontinuas.</i>
<i>No hay "límite de hilabilidad" (mínimo de fibras por sección) pueden hacerse hilados de uno o varios filamentos.</i>
<i>Para el mismo título y material (p.ej. PES), los hilados de filamentos son más resistentes a la tracción que los de fibras discontinuas.</i>
<i>Son más regulares, no producen "pilling" y son en general más caros que los hechos de fibras discontinuas.</i>

TABLA 4.3
PROCESO DE HILATURA CON FIBRAS DISCONTINUAS (cortas o cortadas)

1	PREPARACIÓN <i>(apertura, limpieza y mezclado de la materia prima)</i>
2	FORMACIÓN DE LA CINTA <i>(paralelizado y estirado)</i>
3	ATENUACIÓN DE LA CINTA <i>(estirado de las cintas)</i>
4	REGULACIÓN DEL TÍTULO DE LA CINTA <i>(reunido y estirado de cintas)</i>
5	INSERCIÓN DE TORSIÓN <i>(inserción de torsión verdadera o falsa, según el caso, en cintas, mechas y/o hilados)</i>
6	TERMINACIÓN <i>(purgado, bobinado, reunión y retorsión, vaporizado, etc. de hilados)</i>

El proceso es discontinuo: se debe transportar material entre una operación y otra. Según los casos se transportará como manta (en rollo), como mecha (en tachos y bobinas) o como hilado (en bobinas o conos).

TABLA 4.4
CARACTERÍSTICAS DE LOS HILADOS DE FIBRAS DISCONTINUAS

<i>Se les debe insertar cierta cantidad de torsión para que tengan resistencia a la tracción.</i>
<i>Se debe respetar un "límite de hilabilidad" o cantidad mínima de fibras por sección. Por debajo de ese mínimo el hilado carece de resistencia a la tracción para sus aplicaciones prácticas.</i>
<i>Se puede producir hilados de "mezclas íntimas" de distintos tipos de fibras y obtenerse hilados con propiedades intermedias.</i>
<i>En general, son hilados de buen tacto y bajo brillo</i>

1.1.0- SISTEMAS DE HILATURA CON FIBRAS DISCONTINUAS

Las fibras discontinuas, es decir las fibras naturales (*con excepción de la seda*) y las fibras hechas por el hombre y luego cortadas a diversos largos, pueden hilarse en *distintos sistemas de hilatura*. Una primera división de los *sistemas de hilatura* viene determinado por:

1) El tipo o naturaleza de *materia prima* a emplear, y especialmente por el largo relativo de las fibras. El *algodón*, con una longitud promedio de 30 mm es una fibra corta si se compara con, p.ej. la *lana*, que tiene longitudes de 70 mm o más. En consecuencia la hilatura de estas fibras requiere maquinaria y sistemas diferentes. En consecuencia existe un "*sistema de hilatura algodoner o de fibras cortas*" y un "*sistema de hilatura lanero o de fibras largas*". Las fibras hechas por el hombre se cortan a "*largo algodoner o largo lanero*" según se mezclen con una u otra de estas fibras naturales.

2) El *producto final* que se quiere obtener también determinará el sistema de hilatura a emplear. La *regularidad* es una característica de calidad fundamental para todo tipo de hilados, pero es tanto más difícil de obtener cuanto más delgado sea el hilado. Las fibras naturales en general poseen un alto *coeficiente de variación (CV%) del largo* lo que, como se verá más adelante, genera dificultades para obtener *hilados delgados y regulares*. Es necesario, por tanto, disminuir el *CV del largo* de las fibras, separando o "*peinando*" las más cortas. Cuando el sistema de hilatura incluye una operación de "*peinado*" se llama "*sistema de hilatura peinado*". Cuando, en cambio, solo se desea producir *hilados gruesos*, para los que la *regularidad* es relativamente más fácil de obtener, no es necesario, en general, disminuir el *CV del largo* de las fibras. Por tanto *no* se incluye en el sistema de hilatura una operación de "*peinado*" y, luego del *cardado*, se inserta directamente torsión a mechas para obtener el hilado final. Este sistema recibe el nombre de "*sistema de hilatura cardado*" pues la operación de *cardado* pasa a ser la más importante y la que determina la calidad final del hilado. Es importante señalar que con el "*sistema peinado*" se pueden producir *hilados de buena regularidad de todos los títulos* y en cambio, con el "*sistema cardado*" solo hilados de títulos gruesos con una aceptable regularidad. El "*sistema de hilatura semipeinado*" es un sistema que se emplea para hilar fibras artificiales y sintéticas (*y a veces también lana*) y es en todo similar al "*sistema de hilatura peinado*" salvo que no se incluye justamente la operación de *peinado*, pues al tener las fibras químicas muy bajo CV% del largo, la separación de fibras cortas no es necesaria (*ver más adelante la Sección "Peinado"*).

3) El tipo de *inserción de torsión* también determinará sistemas de hilatura diferentes. Así tendremos, p.ej. el sistema *artesanal*, el de "*continua de anillo (R/S)*", el "*open end (O/E)*", etc., sistemas que serán tratados más adelante con más detalle.

Actualmente, los progresos de la *electrónica*, la *neumática* y la *informática* se han incorporado a la hilatura moderna programando su funcionamiento y controlando la calidad "on line". Es común ya el uso de sistemas informáticos como *PDC ("Production Date Control")*, *PLC ("Programmable Logic Controller")* y *CIM ("Computer Integrated Manufacturing")* con interfaces de comunicación con los operarios cada vez más sencillas. En las ferias textiles que se realizan periódicamente – y de las cuales la *ITMA*, organizada cada cuatro años por los fabricantes de máquinas textiles europeos, es una de las más importantes – se nota un permanente interés en reducir el consumo de energía, el ruido y la contaminación ambiental con aumento de la productividad y la calidad.

Actualmente, la industria textil es una industria de "capital intensivo", que incorpora tecnología permanentemente, que busca productividades cada vez más elevadas, flexibilidad en los procesos, altos niveles de calidad y diseño y rápida capacidad de respuesta al mercado.

TABLA 4.5
HILATURA DE FIBRAS DISCONTINUAS POR "SISTEMA PEINADO"

<i>OPERACIONES BÁSICAS</i>	<i>OPERACIONES ESPECÍFICAS</i>	<i>FINALIDAD PRINCIPAL</i>
PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	LAVADO (lana y otras fibras animales)	limpieza
	SECADO (lana y otras fibras animales)	ajuste del contenido de humedad
	APERTURA (fibras vegetales y químicas)	separación de flocas
	LIMPIEZA (fibras vegetales y químicas)	eliminación de polvo y partículas
	MEZCLADO (fibras vegetales y químicas)	mejorar la regularidad
FORMACIÓN DE CINTAS Y MECHAS	CARDADO	separación y paralelizado de fibras
	REUNIDO (o "doblado")	mejorar la regularidad de las cintas
	ESTIRADO	disminuir la sección de la cinta
	PEINADO	disminuir el CV% del largo de fibras
	REUNIDO y ESTIRADO	mejorar la regularidad de las cintas
FORMACIÓN DE HILADO E HILOS	INSERCIÓN DE TORSIÓN (poca) (*)	aumentar la adherencia entre fibras
	ESTIRADO	disminuir la sección de la mecha
	INSERCIÓN DE TORSIÓN (**)	aumentar la adherencia entre fibras
	PURGADO	eliminar las irregularidades del hilado
	BOBINADO	disponer el hilado en bobinas
	VAPORIZADO	eliminar tensiones del hilado
	REUNIDO Y RETORCIDO	aumentar regularidad y resistencia

(*) En el caso del algodón se inserta algo de "*torsión verdadera*" con "*mecheras*" (ver sección 6.2.0). En el caso de la lana se inserta "*falsa torsión*" con maquinas conocidas como "*finisseurs*", provistas de "*rotofrotadores*".

(**) La torsión final, que transforma la mecha en un hilado, se inserta generalmente en "*continuas de anillo*" u "*open end*"

TABLA 4.6
HILATURA DE FIBRAS DISCONTINUAS POR "SISTEMA CARDADO"

<i>OPERACIONES BÁSICAS</i>	<i>OPERACIONES ESPECÍFICAS</i>	<i>FINALIDAD PRINCIPAL</i>
PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	LAVADO (lana y otras fibras animales)	limpieza
	SECADO (lana y otras fibras animales)	ajuste del contenido de humedad
	APERTURA (fibras vegetales y químicas)	separación de flocas
	LIMPIEZA (fibras vegetales y químicas)	eliminación de polvo y partículas
	MEZCLADO (fibras vegetales y químicas)	mejorar la regularidad
FORMACIÓN DE CINTAS Y MECHAS	CARDADO	separación y paralelizado de fibras
	INSERCIÓN DE TORSIÓN (poca) (*)	aumentar la adherencia entre fibras
FORMACIÓN DEL HILADO	ESTIRADO	disminuir la sección de la mecha
	INSERCIÓN DE TORSIÓN (**)	aumentar la adherencia entre fibras
	PURGADO	eliminar las irregularidades del hilado
	BOBINADO	disponer el hilado en bobinas
	VAPORIZADO	eliminar tensiones del hilado
	REUNIDO Y RETORCIDO	aumentar regularidad y resistencia

(*) En el caso del algodón se inserta algo de "*torsión verdadera*" con "*mecheras*" (ver sección 6.2.0). En el caso de la lana, a la *salida de la carda* un "*divisor de velo*" divide el *velo* en *cintas*. Las *cintas* son luego transformadas en *mechas cilíndricas* por medio de "*rotofrotadores*" que aplican "*falsa torsión*" (ver sección 3.0.0).

(**) La torsión final, que transforma la mecha en un hilado, se inserta generalmente en "*continuas de anillo*"

TABLA 4.7

EJEMPLO DE UNA MODERNA HILANDERÍA DE ALGODÓN <i>Algunos datos representativos</i>	
Producción de hilado R/S, tons/mes (cardado y peinado)	600
Producción de hilado O/E, tons/mes	400
Títulos del hilado R/S	Ne 16 - 40
Títulos del hilado O/E	Ne 4 - 35
Cantidad de husos R/S	33.500
Cantidad de posiciones O/E	2.000
Cantidad de máquinas R/S	32
Cantidad de máquinas O/E	8
Cantidad de cardas	48
Cantidad de mecheras	8
Régimen de trabajo, hs/día	24
Régimen de trabajo, turnos de 6 hs./día	4
Personal ocupado, operarios	450
Área ocupada por la hilandería, m ²	15.000

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Yarn Technology: Science, Technology and Economics" P.R.Lord, Woodhead Publishing Ltd., sales@woodhead-publishing.com
- 2- "Short Staple Yarn Manufacturing", D.J.McCreight, R.W.Feil, J.H.Booterbaugh, E.E.Backe, Woodhead Publishing Ltd.
- 3- "Short Staple Yarn Spinner's Handbook", D.J.McCreight, J.B.Bradshaw, E.E.Backe, M.S.Hill, Woodhead Publishing Ltd., sales@woodhead-publishing.com
- 4- "Fancy Yarns", R.H.Gong, R.M.Wright, Woodhead Publishing Ltd., sales@woodhead-publishing.com
- 5- "Air-Jet Texturing", A. Fellingham, Woodhead Publishing Ltd., sales@woodhead-publishing.com
- 6- "False Twist texturing", A. Fellingham, Woodhead Publishing Ltd., sales@woodhead-publishing.com
- 7- "Yarn Texturing Technology", J.E.S. Hearle, L.Hollick, D.K.Wilson, Woodhead Publishing Ltd.,
- 8- "Advances in Yarn Spinning Technology". Edited by C A Lawrence, University of Leeds, UK., Woodhead Textiles Series No. 99. ISBN-10: 1 84569 444 9, ISBN-13: 978 1 84569 444 9

2.0.0- APERTURA, LIMPIEZA Y MEZCLADO

La *apertura*, *limpieza* y *mezclado* (*ALM*) son operaciones fundamentales para la hilatura del *algodón*. Otras fibras vegetales requieren también operaciones de *ALM* de acuerdo a las características de cada una.

Ya en los lugares cercanos a donde es cosechado, el *algodón* es sometido al "desmotado" o "*ginning*" en máquinas especiales que le separan la tierra más gruesa, las semillas, los restos de hojas, etc., (ver Capítulo I, "Origen y Evolución de la Tecnología Textil", Sección 6. 0. 0, "La Desmotadora de Algodón de Eli Whitney), para luego ser enfardado a presión (30 lb/ft³ aprox.) y transportado a las hilanderías. Una vez en la hilandería, los fardos se abren y se mantienen abiertos por un cierto tiempo para permitir que la fibra alcance el equilibrio con el medio ambiente de la fábrica. A continuación el *algodón* es sometido a operaciones de *ALM*. Las operaciones de *ALM* son previas al *cardado* y muy importantes para obtener un hilado de buena calidad. Se estima que el 50 % de todas las fallas en el hilado final son, en general, debidas a operaciones de *ALM* mal realizadas.

Las operaciones de *ALM* se llevan a cabo en una sección de la hilandería ("*blow room*"), exclusiva para ese fin, que puede constar hasta de 6 zonas o etapas. La intensidad de la apertura, la limpieza y el mezclado se aumenta en forma gradual (*para evitar una excesiva rotura de fibras*), pasando de una etapa a la siguiente. En comparación con el algodón, las fibras químicas (*artificiales y sintéticas*), son fibras limpias y, en general requieren solo dos etapas de apertura, limpieza y mezclado. El algodón destinado a ser hilado por el sistema "*open end*", en cambio, requiere una cuidadosa limpieza y debe pasar por una mayor cantidad de zonas o etapas.



2.1.0- APERTURA

La "*apertura*" es de dos tipos: 1) la *división o fraccionamiento de las flocas*, en la que no varía la densidad aparente de estas y, 2) la *separación de fibras*, en la que el volumen de la floca aumenta y su densidad aparente, en g/cm³, disminuye. A medida que se avanza en el proceso, la apertura tipo 2) aumenta en intensidad, hasta que se alcanza un máximo luego en la

operación de *cardado*. El aumento de intensidad debe ser gradual para minimizar la rotura de fibras y la formación de "neps", o "botones", de fibras. Las abridoras modernas son capaces de procesar de 1500 a 2000 kg/h.

2.2.0- LIMPIEZA

La eficiencia de limpieza oscila en general entre un 40-70 % y dependerá de: **1)** las condiciones de la materia prima (*tamaño y densidad aparente de la floca*), **2)** la eficiencia de la apertura, **3)** el tamaño de las impurezas (*el polvo no es fácil de remover pues la misma floca actúa como filtro y la fricción entre fibras genera más polvo*), **4)** el contenido de suciedad de la materia prima (es más difícil remover bajos contenidos de suciedad, ver Figura 4.2), **5)** el contenido de humedad de la materia prima (*a mayor humedad más difícil la limpieza*) y **6)** las condiciones ambientales de humedad y temperatura (*para el algodón las condiciones ideales son 23°C y 45-50 % de HR y se debe dejar los fardos abiertos, en equilibrio con esta atmósfera, 24 a 48 hs.*)

$$\text{Eficiencia de limpieza} = [(\text{Desperdicio total} - \text{Desperdicio de Fibras}) / \text{Desperdicio Total}] \times 100$$

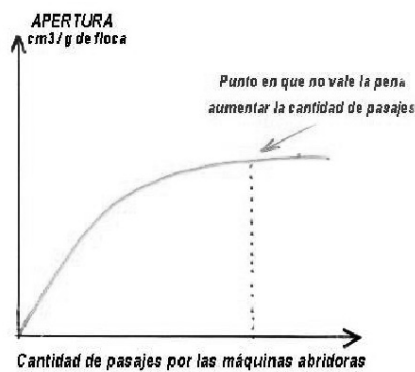


Figura 4.1



Figura 4.2

Cuanto más intensa la apertura y limpieza, mayor será el desperdicio de fibras y por tanto debe llegarse a una solución de compromiso entre la *intensidad* de la limpieza y la cantidad de *desperdicio*. En la hilatura "de anillo" el *costo operativo* del "blow room" es un 5-10% del costo total de la hilandería. En cambio, el *costo por pérdida de fibra* puede ser muy alto.

EJEMPLO: supongamos una hilandería donde el desperdicio total es del 0,5%, que incluye un desperdicio de fibra buena de 0,25%. El valor de la materia prima es de U\$S/kg 2 y se procesan 3000 tons/año. La pérdida anual por concepto de fibra buena desperdiciada es de: $3 \times 10^6 \times 0,25 \times 10^{-2} \times 2 = \text{U\$S } 15000$

Por otra parte, algunas fibras que no llegan a ir al desperdicio pueden, de todas maneras, debilitarse y romperse más adelante en el proceso de hilatura, generando un aumento de fibras cortas que afectarán la *regularidad* final del hilado o serán enviadas al desperdicio en la operación de *peinado*.

2.3.0- MEZCLADO

Un buen mezclado es también importante por dos principales razones: **1)** lograr que la materia prima que se va a procesar tenga propiedades uniformes y, **2)** obtener economías al mezclar materias primas de orígenes y calidades diferentes.

Si este mezclado no se hace correctamente pueden producirse irregularidades de largo período en el hilado. Para evitar esto, cuando se trabaja con diferentes partidas de fibra, se debe ir usando alternadamente fardos de diferente origen, alimentar regularmente a las máquinas.

El mezclado se completa en las operaciones que siguen después: cardado, reunido y estirado. Cuando se mezclan fibras, en general no es posible lograr mezclas íntimas perfectas, lo que por otra parte no es necesario: alcanza con un mezclado razonablemente homogéneo.

2.4.0- SISTEMAS AUXILIARES

Como sistemas auxiliares de las operaciones de **ALM** podemos señalar a: 1) sistemas de extracción de polvo, 2) sistemas de aire acondicionado para regular las condiciones ambientales del "blow room", 3) sistemas de transporte de material (*por "teleras" o neumáticos*), 4) sistemas de control del flujo de material, 5) sistemas de seguridad, como p.ej., separadores magnéticos de metales, 6) sistemas de reciclado de desperdicios, etc.

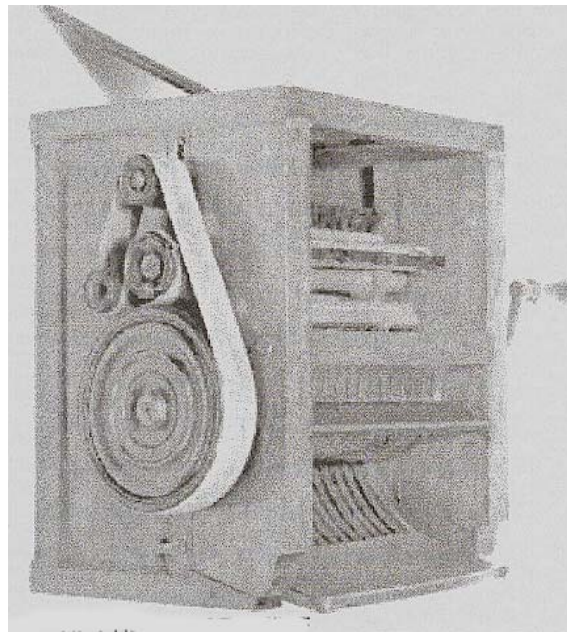


Figura 4.3

La desmotadora de algodón, inventada en 1793 por Eli Whitney
(ver Capítulo 1 - "Orígenes y Evolución de la Tecnología Textil")

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Spun Yarn Technology", Eric Oxtoby, Butterworths, London, 1987
- 2- "A Practical Guide to Opening and Carding", W. Klein, The Textile Institute, UK, 1987

2.5.0 – ALGUNAS MÁQUINAS DE APERTURA, LIMPIEZA Y MEZCLADO



Figura 4.4

MAQUINA ABRIDORA DE FARDOS, AUTOMÁTICA
Rieter Machine Works Ltd.

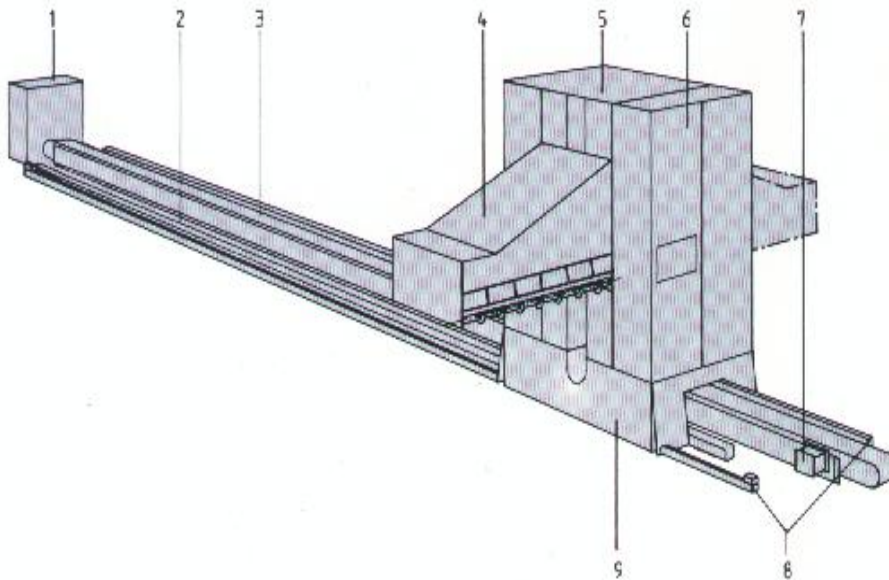


Figura 4.5

1– Panel de comando. 2- Canal de cables de conexión. 3– Canal de transporte del material hacia la salida. 4– Dispositivo disgregador conteniendo rodillo con discos dentados. Posee movimiento vertical para retirar material a distintas alturas de los fardos. 5- Torre que se desplaza a lo largo y además gira 180° para retirar material de fardos colocados a ambos lados. 6- Panel eléctrico. 7 – Ducto de salida. 8 – Rieles. 9 - Chasis

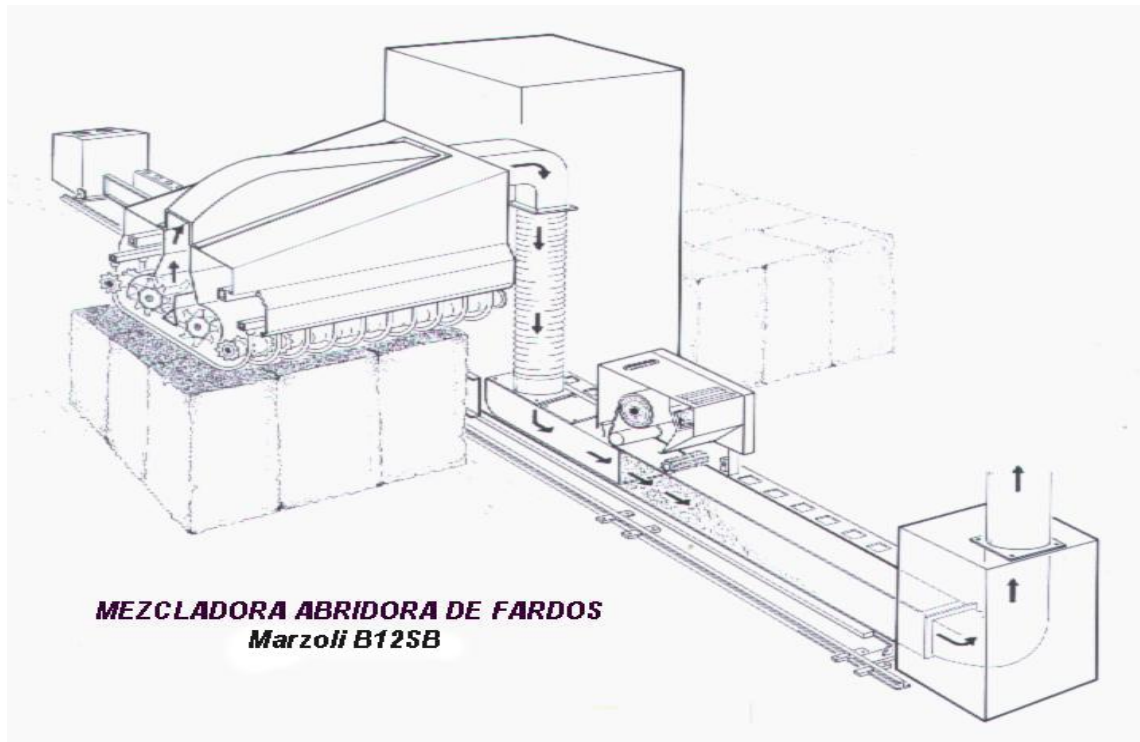


Figura 4.6

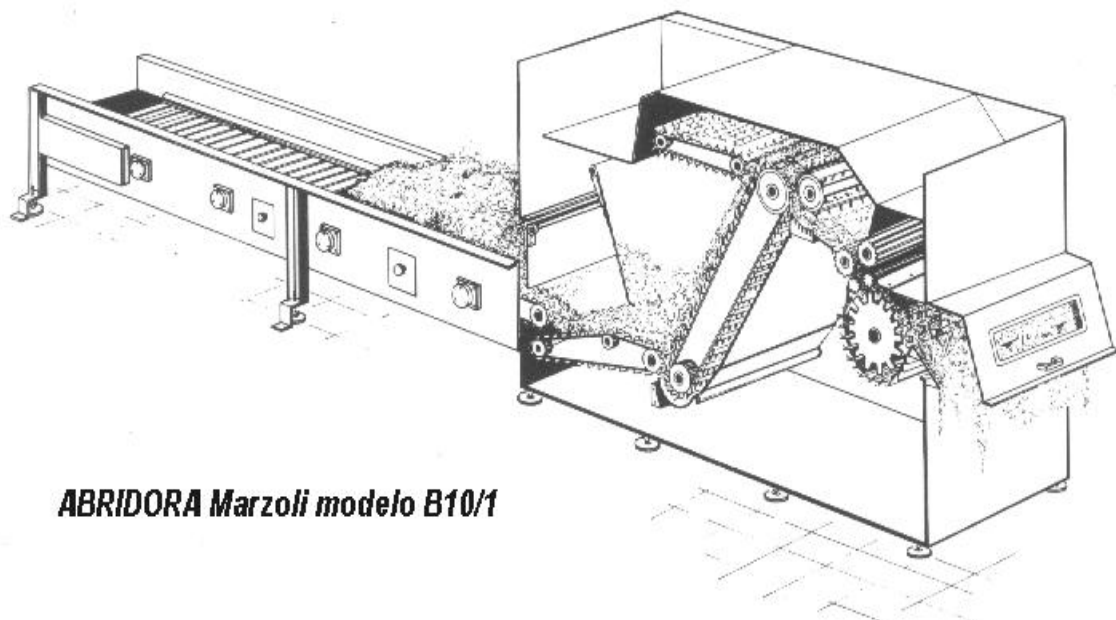


Figura 4.7



Figura 4.8
MÁQUINA ABRIDORA MEZCLADORA DE FARDOS
 Rieter Machine Works Ltd.

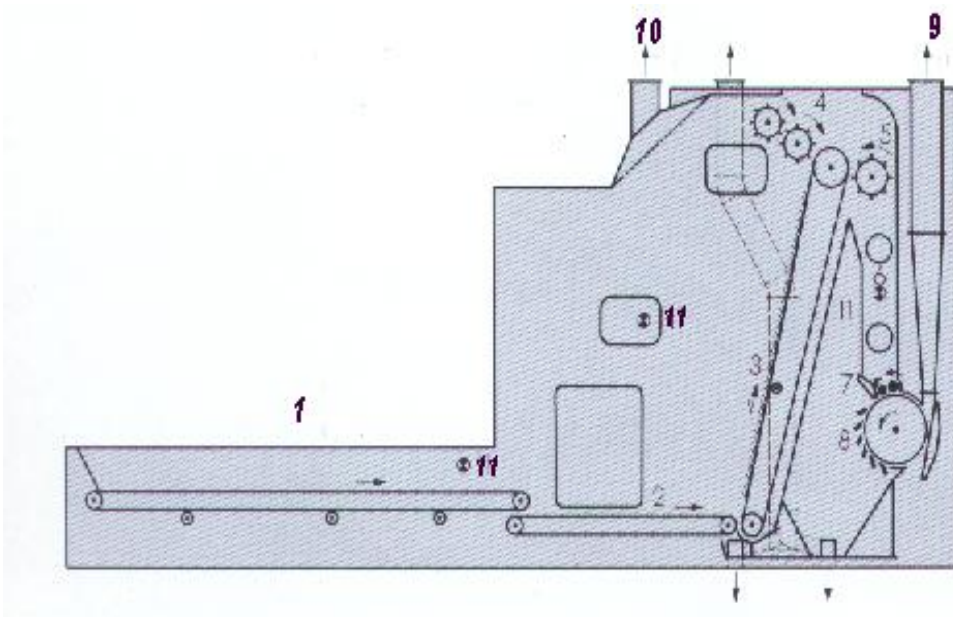


Figura 4.9
 1 - Cinta de alimentación. 2 - Cinta transportadora. 3 - Cinta elevadora con púas. 4 - Rodillos reguladores. 5 - Rodillos sacadores. 6 - Tolva de alimentación. 7 - Rodillos de alimentación. 8 - Rodillo abridor. 9 - Salida del material. 10 - Salida a ductos transportadores de polvo. 11 - Fotocélulas.

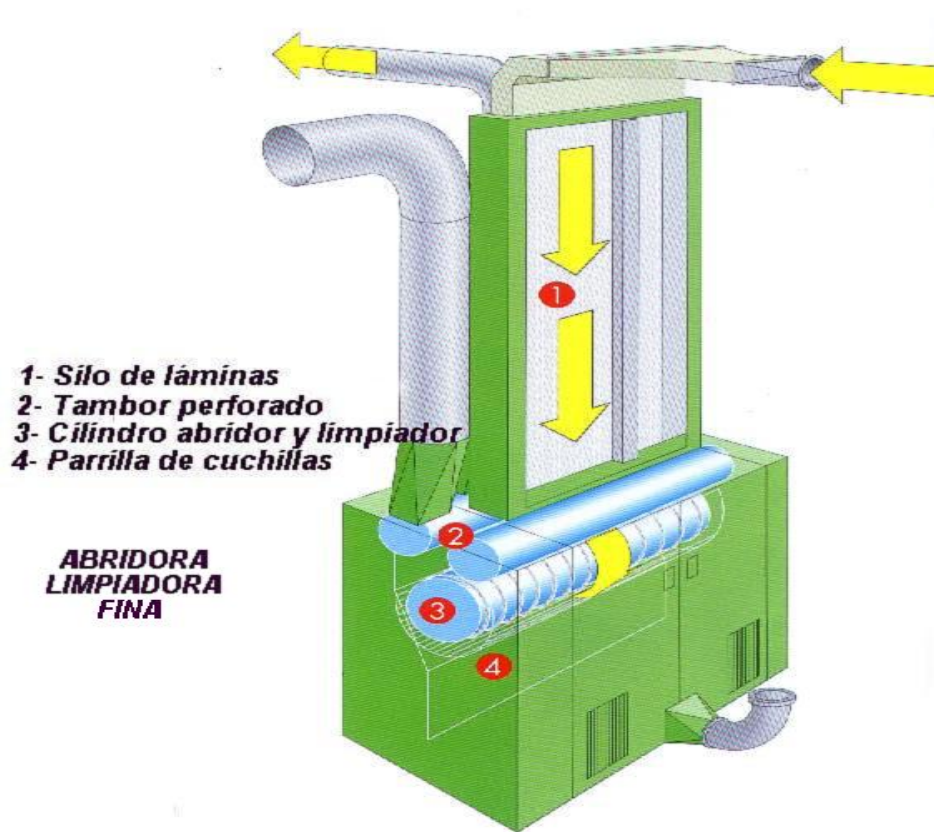
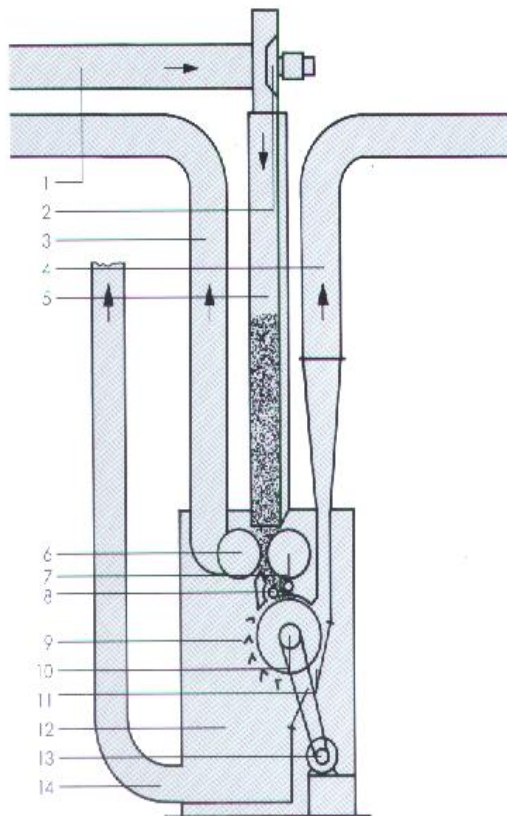


Figura 4.10



**MÁQUINA LIMPIADORA ERM, modelo B5/5,
 Rieter Machine Works Ltd.**

1- Alimentación del material. 2- Cabezal de alimentación con ventilador. 3- Tubo de aire de escape (hacia arriba o abajo). 4- Salida del material. 5- Silo de láminas con material. 6- Cilindro liso. 7- Cilindro perforado. 8- Cilindros alimentadores. 9- Parrilla de cuchillas. 10- Cilindro limpiador. 11- Boquilla de aspiración. 12- Cámara de desperdicios. 13- Motor del cilindro limpiador. 14- Tubería de transporte de desperdicios

Figura 4.11



Figura 4.12
Rieter Machine Works Ltd.

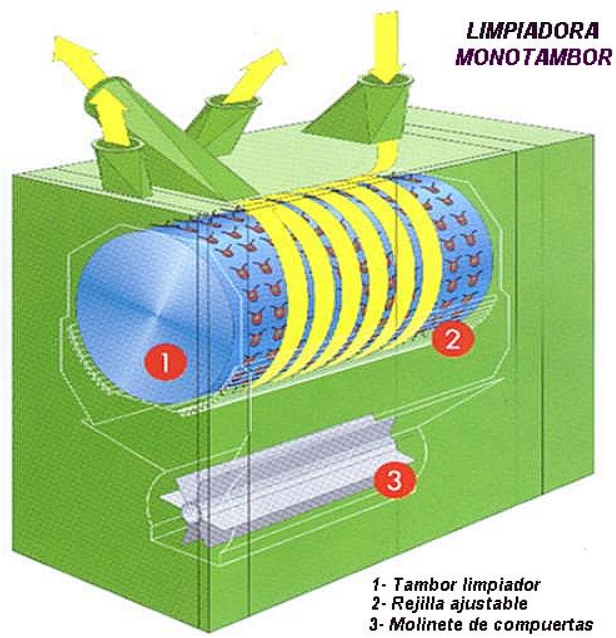


Figura 4.13
Rieter Machine Works Ltd.

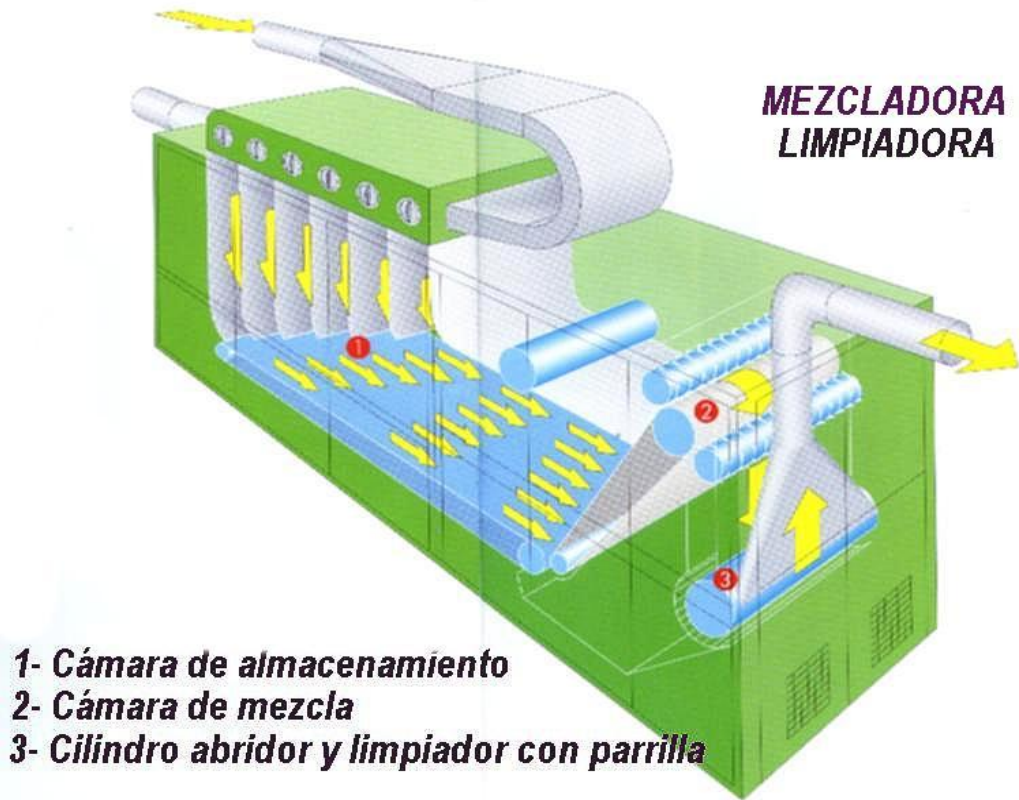
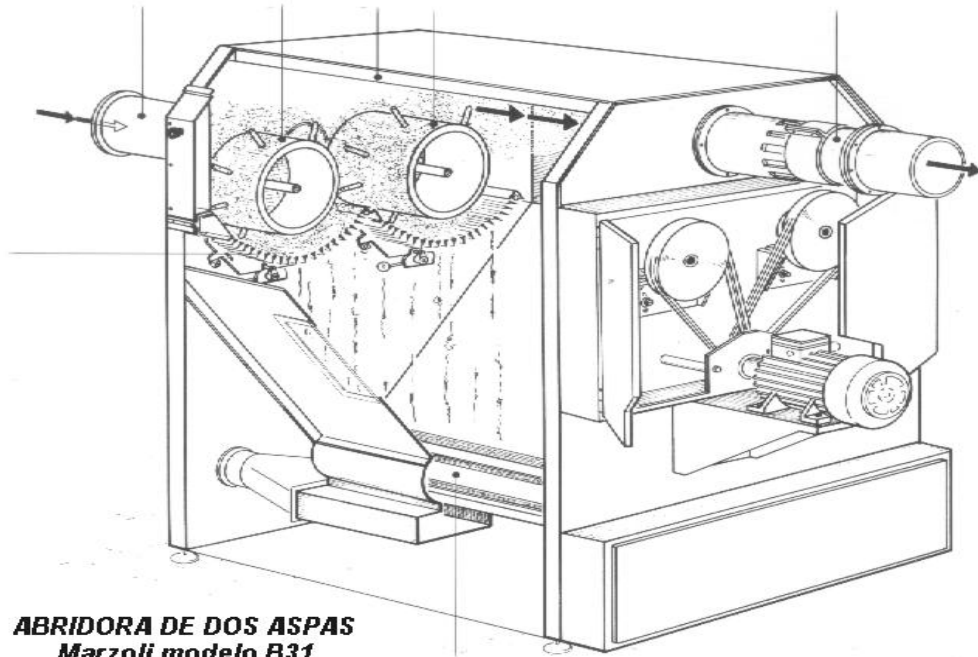


Figura 4.14
Rieter Machine Works Ltd.



Figura 4.15
Rieter Machine Works Ltd.



ABRIDORA DE DOS ASPAS
Marzoli modelo B31

Figura 4.16

ABRIDORA HORIZONTAL Marzoli modelo B36

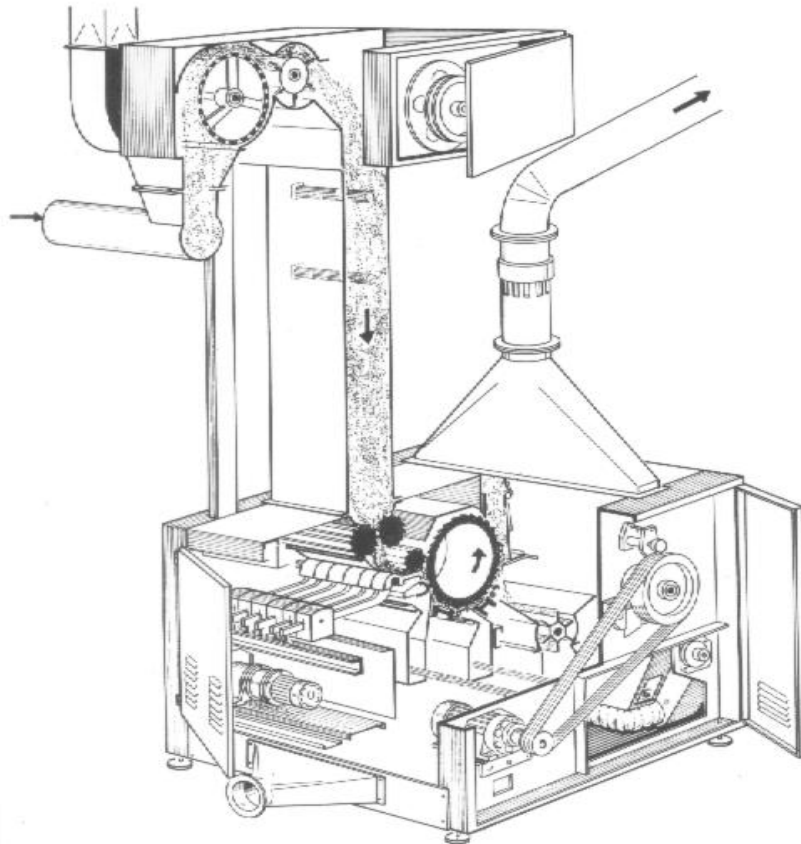


Figura 4.17

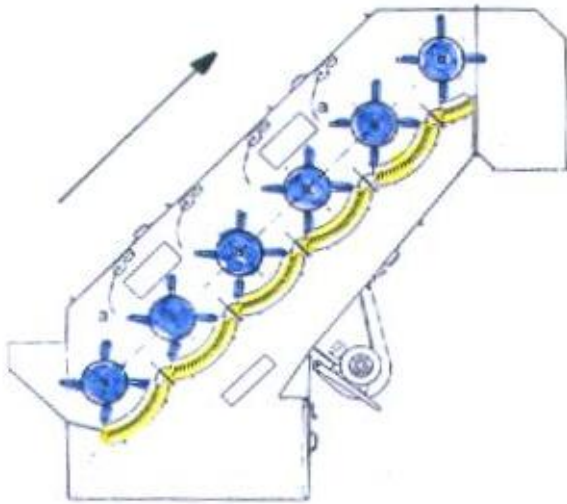


Figura 4.18
LIMPIADORA HERGETH HOLLINGSWORTH

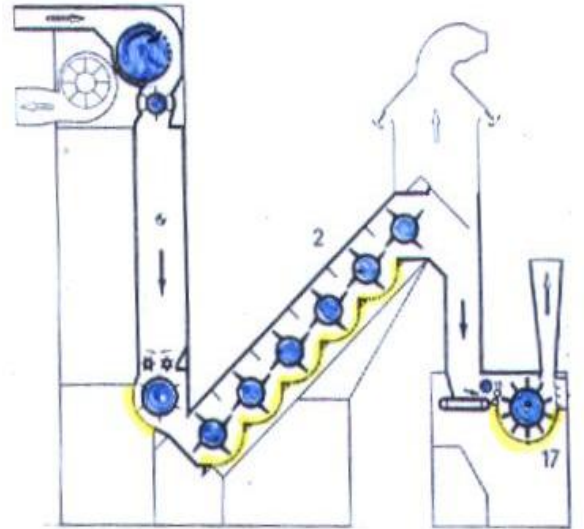


Figura 4.19
LIMPIADORA TRÜTZSCHLER RN

GRILLAS

Las grillas poseen orificios y rejillas para dejar pasar el polvo y la suciedad y retener el material textil. La sección, la inclinación y la separación de las rejillas influye en la eficiencia de la limpieza

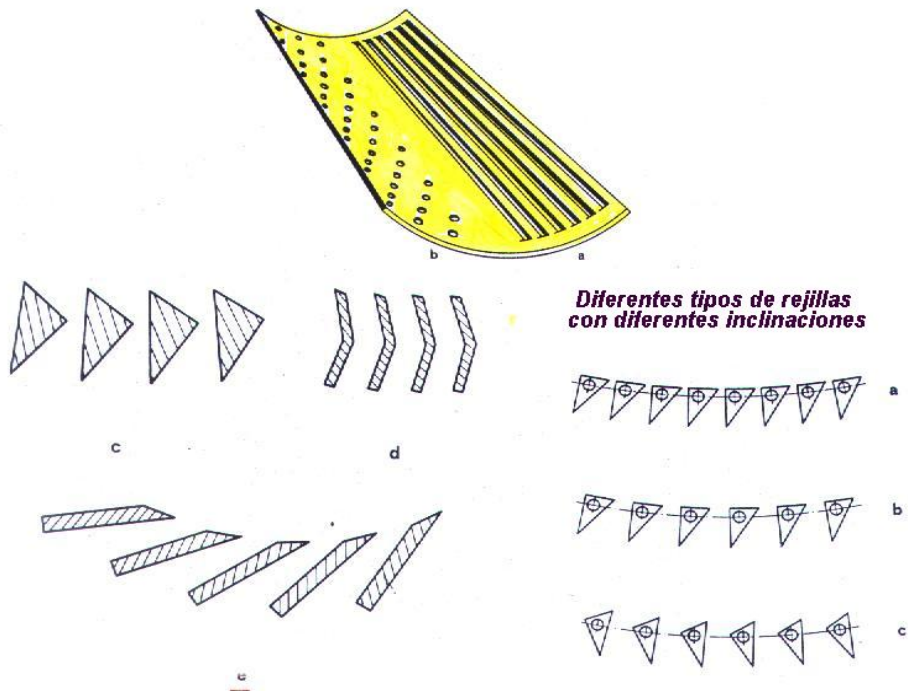
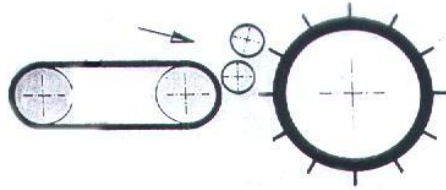
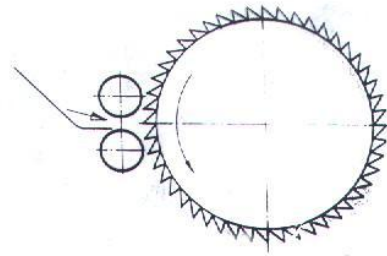


Figura 4.20

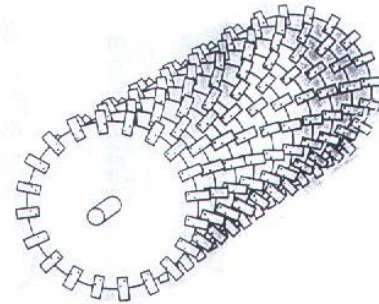
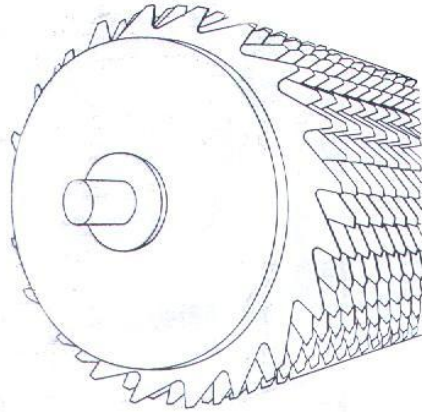
DISTINTOS TIPOS DE GUARNICIONES



ESPIGAS



DISCOS DENTADOS



DISCOS CON HOJAS ("Porcupina")

Figuras 4.21, 4.22, 4.23 y 4.24



Figura 4.25
TELERA CON PÚAS

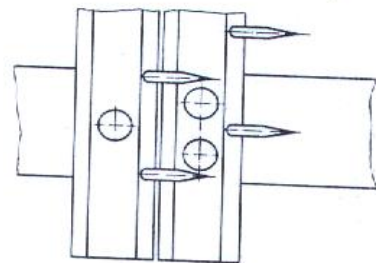
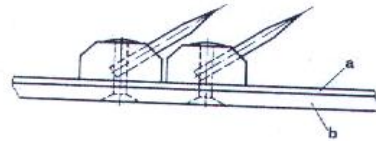


Figura 4.26
PÚAS EN TREBOLILLO

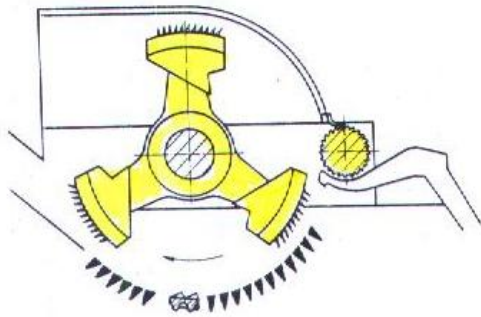


Figura 4.27

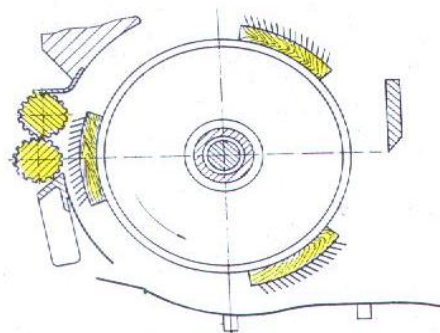


Figura 4.28

GUARNICIONES TIPO "KIRTSCHNER"

3.0.0- CARDADO

Los objetivos de la **operación de cardado** son los siguientes:

- 1) **La casi separación individual de las fibras**, en forma lenta y progresiva. La separación debe ser solo **casi** total, pues obviamente, si la separación fuese total no podríamos obtener un “**velo de fibras**” a la salida de la carda.
- 2) **El paralelizado parcial de las fibras**. Un paralelizado total impediría obtener un velo de fibras continuo y coherente a la salida de la carda.
- 3) **El mezclado de las fibras**, fundamental para mejorar la **regularidad** del hilado final.
- 4) **La separación de material indeseable** como polvo, botones (“*neps*”), restos de vegetales, fibras cortas, etc., etc. Un velo de carda **libre de impurezas** es imprescindible para obtener hilados regulares y de buena calidad.

Un buen cardado contribuye a evitar problemas en las operaciones siguientes y es imprescindible para la obtención de hilados de buena calidad.
ES MUY DIFÍCIL CORREGIR MAS ADELANTE UN MAL CARDADO
¡LA CARDA ES EL CORAZÓN DE LA HILANDERÍA!

Las cardas son equipos que aparecieron aproximadamente en 1770 y se fueron perfeccionando hasta 1850. Desde esa fecha no han tenido mayores cambios en lo esencial, salvo en el aumento de velocidad, la automatización y la seguridad de su manejo.

Para evitar un excesivo aumento de la rotura de fibras, el cardado de la **lana** debe realizarse en forma lenta y progresiva, por tratarse de una fibra elástica pero con relativa baja resistencia a la tracción. Las mejoras en la preparación previa del material y en la calidad de las **guarniciones** han permitido un aumento gradual de la productividad, p.ej. la velocidad de producción de las cardas laneras aumentó de unos 10 kg/hora en el siglo 19 a unos 150 kg/hora en las últimas décadas del siglo 20. En general es necesario encontrar un punto de compromiso entre el aumento de la velocidad de producción de la carda y la rotura de fibras, que produce un aumento en la cantidad de fibras cortas. Se estima que para la lana, cada mm de disminución en el “hauteur” disminuye el precio del “top” en unos 0,10 U\$/kg. Las **cardas laneras** son de diferentes características según que el sistema de hilatura sea **peinado o cardado** (ver Figs. 4.29 a 4.32). En el caso del **sistema de hilatura cardado**, como la mayor parte de la calidad del hilado se debe lograr en la carda, estas son máquinas más compleja que las del **sistema peinado**: las cardas laneras del sistema cardado cuentan con dispositivos especiales para: **1)** el mezclado del velo y su división en cintas y, **2)** el redondeado e inserción de falsa torsión en las cintas obtenidas del velo (ver Figuras 4.31 y 4.32).

El **algodón**, a diferencia de la lana, es una fibra más corta y de mayor resistencia a la tracción. Por tanto **las cardas algodonerías** son, en general, **más rápidas** y por tanto pueden ser **más pequeñas** que las cardas laneras (ver Figuras 4.33 a 4.36).

Así como la carda es “el corazón de la hilandería”, las guarniciones son “el alma de la carda”. Las guarniciones son de fundamental importancia para una buena operación de cardado. Pueden ser **rígidas** o **flexibles** (con **dientes** o **púas**, respectivamente) y están fijadas en la superficie de los **tambores** u **órganos** de carda. Los tambores u órganos son en general de aluminio o de aleaciones livianas y van montados sobre rodamientos. La **densidad** de dientes o púas de las guarniciones aumenta en el sentido de avance del material. La **separación** entre las superficies cardantes y la **velocidad** lineal relativa entre ellas es de suma importancia para la eficiencia del cardado.

3.1.0- TIPOS DE CARDAS

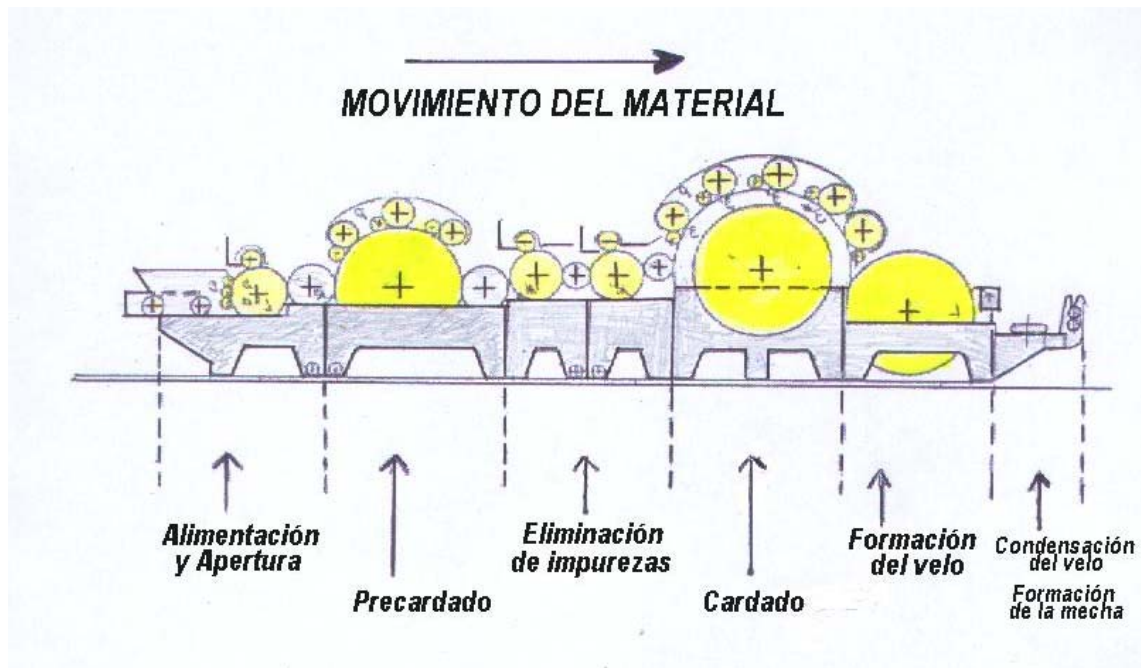


Figura 4.29- **CARDA LANERA (Sistema Peinado)**
 (de acuerdo a la calidad de la materia prima pueden haber una o más secciones de **precariado**)

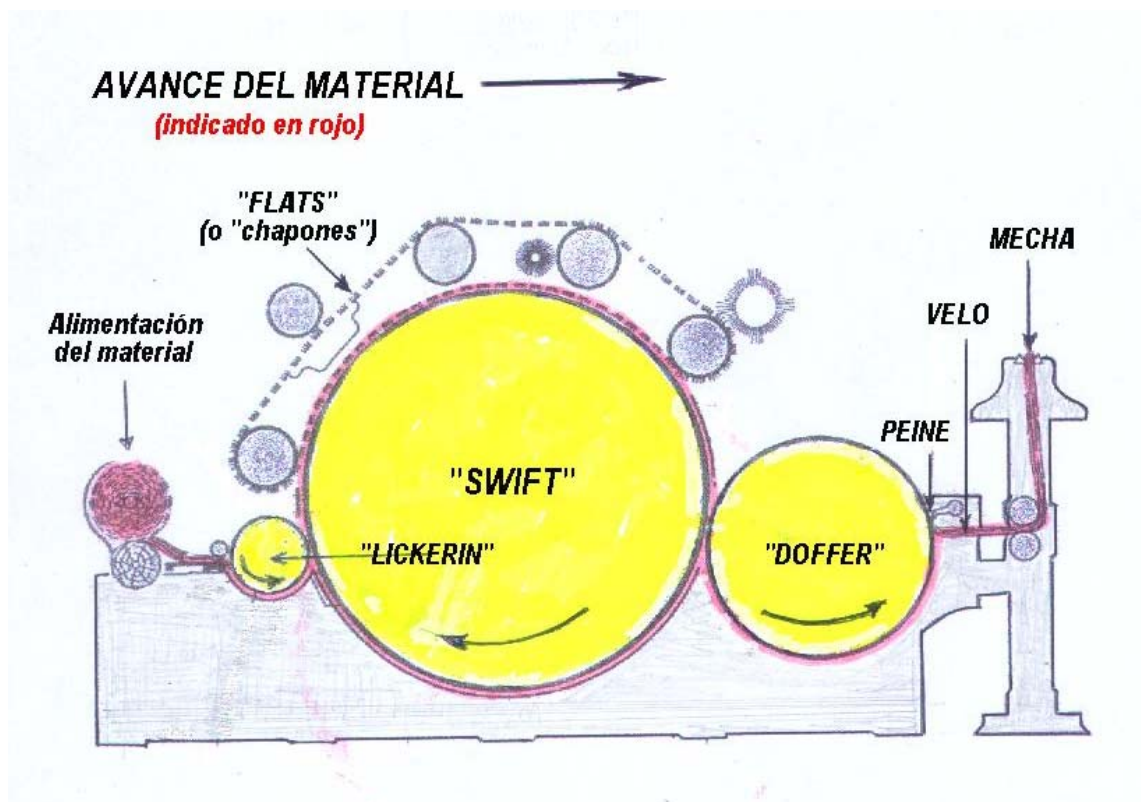


Figura 4.30 - **CARDA ALGODONERA**

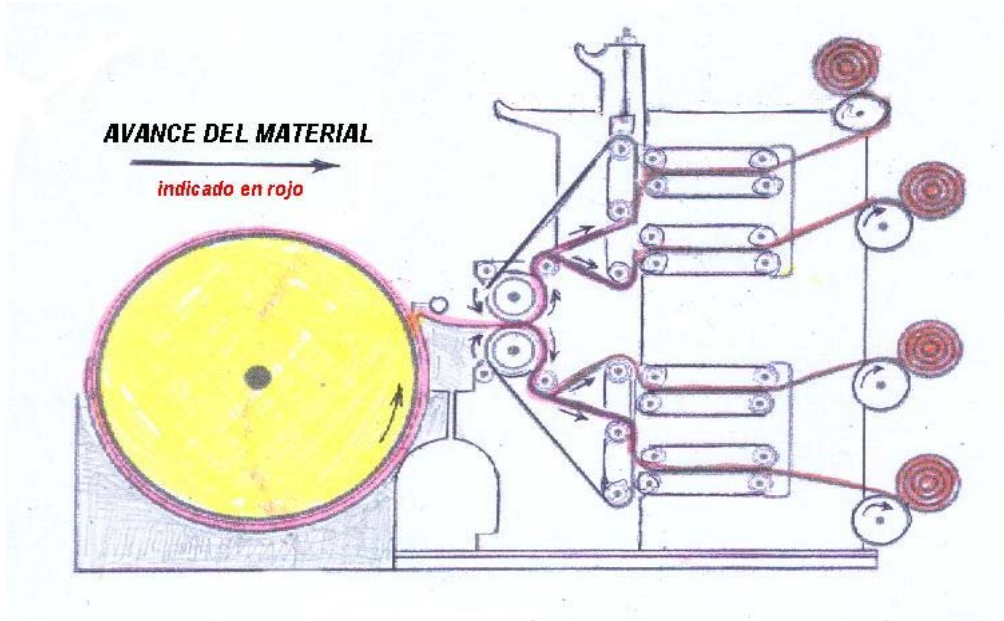
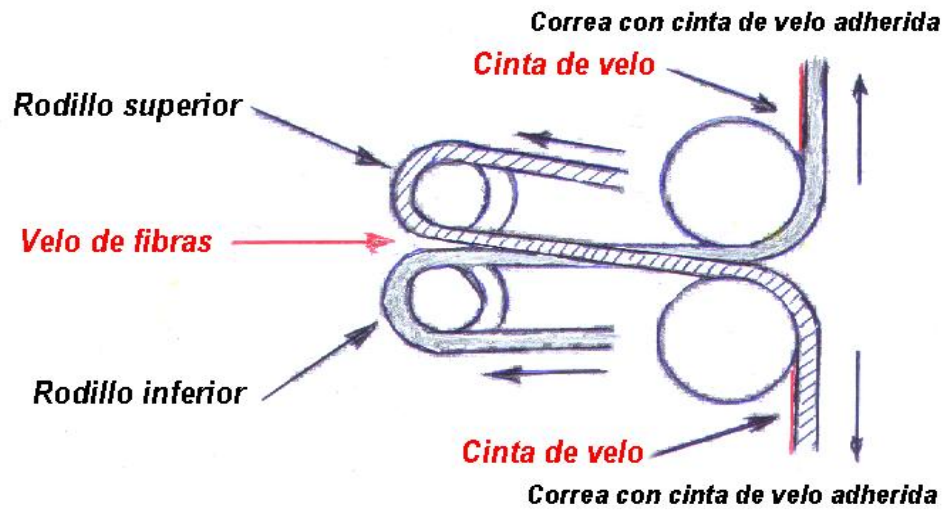


Figura 4.31- **DIVISORA DE VELO**
PARA EL CARDADO DE LANA EN EL SISTEMA DE HILATURA CARDADO



RODILLOS CON RANURAS Y DIENTES

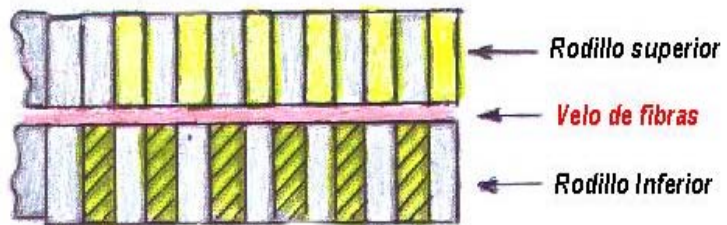


Figura 4.32 - **DETALLES DEL DIVISOR DE VELO**



Figura 4.33

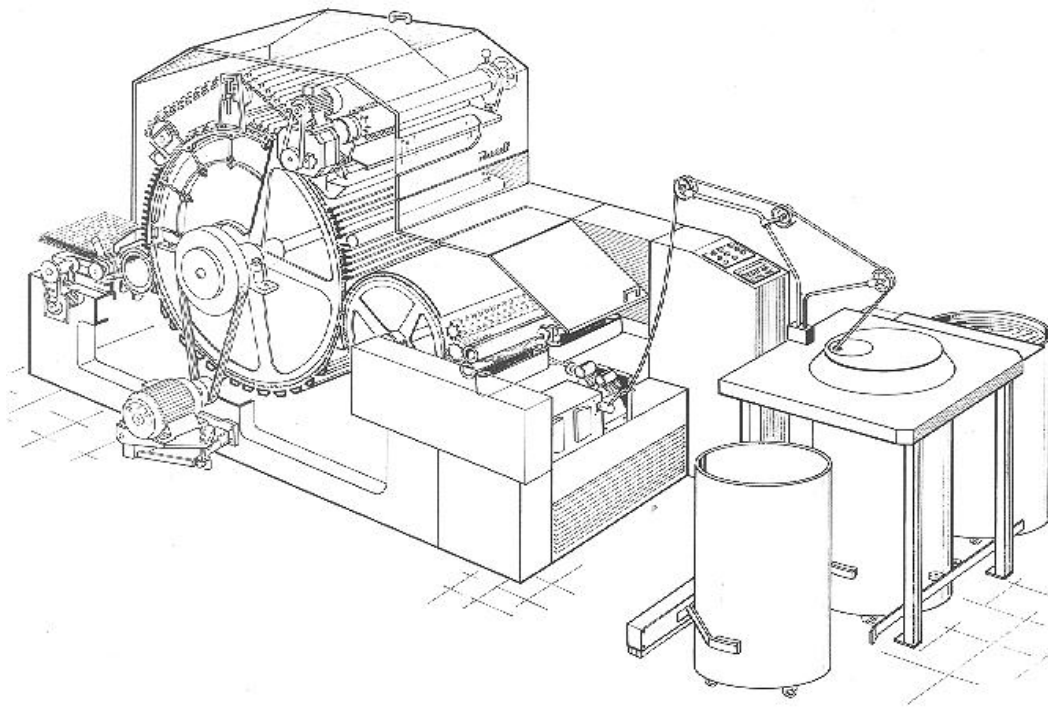


Figura 4.34

CARDAS ALGODONERAS
Marzoli modelo CX 300, Italia



Figura 4.35



Figura 4.36

CARDAS LANERAS para Sistema de Hilatura Peinado
(Thibeaux, Groupe N. Schlumberger & Cie, Francia)



Figura 4.37

DIVISOR DE VELO para Hilatura de lana en Sistema Cardado
(MASIAS, Gerona, España)



Figura 4.38

Correas separadoras de las cintas de velo
(Tatham, Inglaterra)



Figura 4.39

Mecanismo para la rotofrotación de las cintas de velo
La rotofrotación transforma las cintas en mechas redondas y les inserta falsa torsión

3.2.0- GUARNICIONES DE CARDA

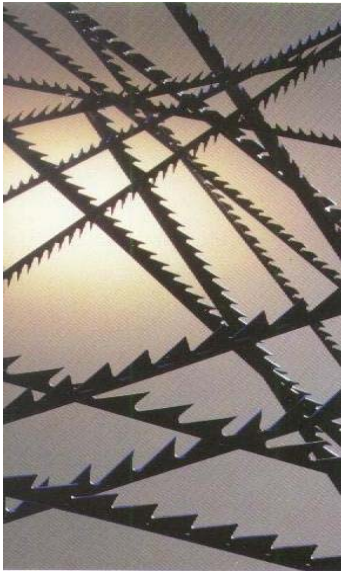


Figura 4.40
RÍGIDAS

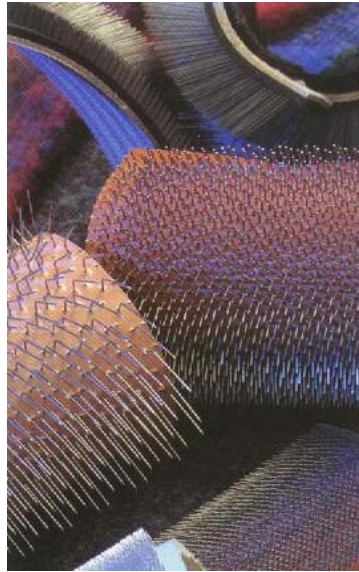


Figura 4.41
FLEXIBLES

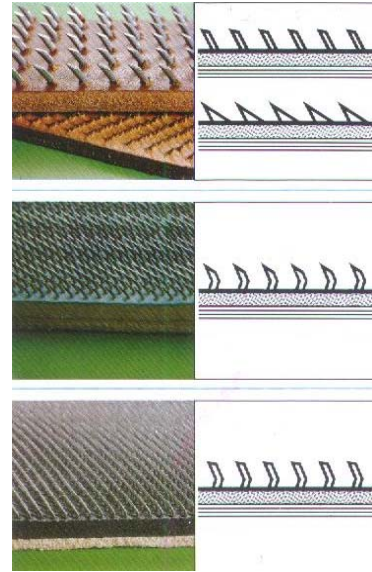


Figura 4.42
FLEXIBLES SEMI RÍGIDAS

Las **guarniciones rígidas** son cintas de acero con dientes tipo sierra, de diferentes formas, según el órgano de carda a que corresponda.

Se suelda una punta de la cinta al tambor de carda, se enrolla en este y, cuando el tambor queda cubierto completamente, se suelda la otra punta. La separación o "galga" entre las filas del espiral es determinada por el "talón" de la cinta. Las cintas pueden estar guiadas por surcos grabados en el tambor o trabadas entre si, por los "talones", si el tambor es liso.

La *punta de los dientes* de la cinta deben ser duros como para resistir el desgaste provocado por el roce con las fibras, pero no tan rígido como para quebrarse. La *base de los dientes*, en cambio, debe ser lo suficientemente flexible como para permitir enrollar la cinta en el tambor.



Figura 4.43

Figura 4.44

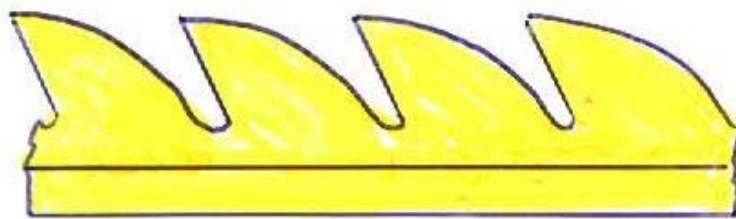
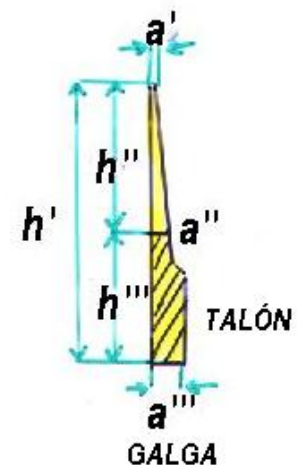


Figura 4.45



Las **guarniciones flexibles** se desarrollaron inicialmente tratando de imitar a los cardos naturales (“teazles”) (Figura 4.46) usados desde antiguo para el cardado del algodón y la lana. Estas guarniciones están formadas por **púas** insertadas en una **base o fundación** flexible (Figura 4.47).



Figura 4.46

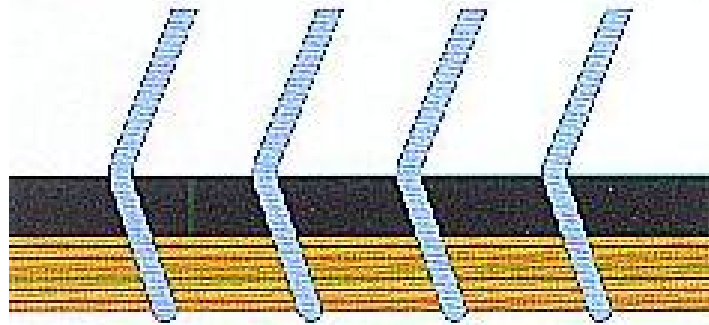


Figura 4.47

La **base o fundación** debe ser flexible y tener buena resistencia mecánica. Debe también ser resistente a la humedad y a los ensimajes que puedan contener las fibras

Las **púas** se hacen con alambre de acero de alto temple (0,5 % Carbono, 0,07 % Manganeso, 0,09-0,15 Silicio), de gran dureza y flexibilidad. Generalmente poseen un recubrimiento electrolítico de cadmio o estaño para que resistan mejor la acción de la humedad y de los aceites de ensimaje. En general las púas están **acodadas** para evitar que, al enderezarse por la resistencia que opone el material que se está cardando, lleguen a tocarse las puntas de ambas superficies cardantes, y se produzcan chispas y eventuales incendios.

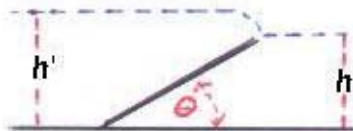


Figura 4.48

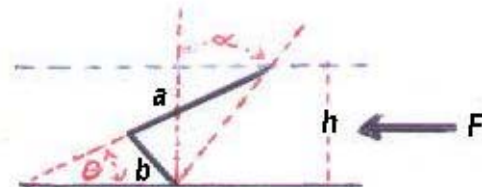


Figura 4.49

Bajo la fuerza **F**, el aumento de la altura del segmento **a** es compensado por el descenso de **b**
Son importantes los ángulos α y β para la eficiencia del cardado

Las **puntas disponibles por unidad de tiempo** para realizar la operación de cardado dependen de las **puntas/cm²** y de las **rpm** del tambor en que están insertadas. Estos valores se aumentan a medida que la operación de cardado progresa. La disposición de las púas (*simples, cruzadas, trebolillo, etc.*) es también muy importante para un cardado eficiente (Figuras 4.50 y 4.51).

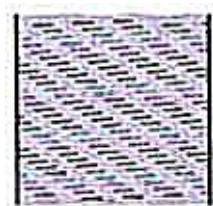


Figura 4.50

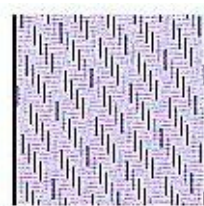


Figura 4.51

3.3.0- ACCIÓN DE LAS SUPERFICIES CARDANTES

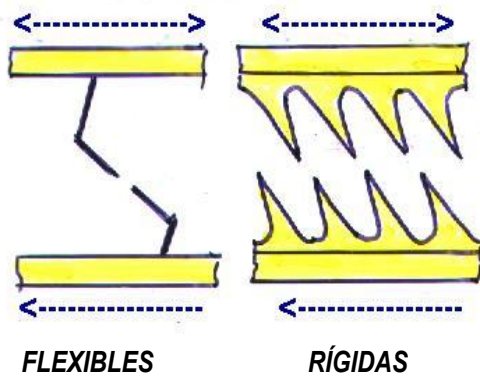


Figura 4.52

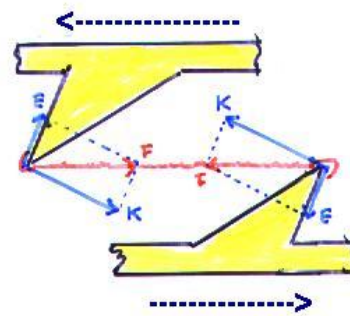


Figura 4.53

POSICIÓN "CARDADO" ("PUNTA A PUNTA")

- 1) Las dos superficies avanzan en el mismo sentido pero una a mayor velocidad que la otra.
- 2) Las dos superficies avanzan en sentido contrario, a igual o a diferentes velocidades.

La fuerza E tienden a "meter" o "deslizar" las fibras hacia el interior de la guarnición, las fuerzas K tienden a sacarlas (Figura 4.53). Que las fibras "entren" o "salgan" dependerá de: 1) la longitud del "gancho" por el que están sujetadas al diente o púa de la guarnición y, 2) del ángulo de inclinación del diente o púa (las fibras "deslizarían" hacia adentro como en un plano inclinado). **Cualquiera de las dos superficies se puede llevar material y habrá separación, paralelizado y mezclado de fibras, es decir "cardado".**

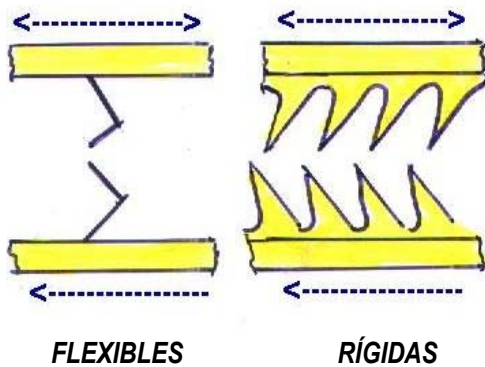


Figura 4.54

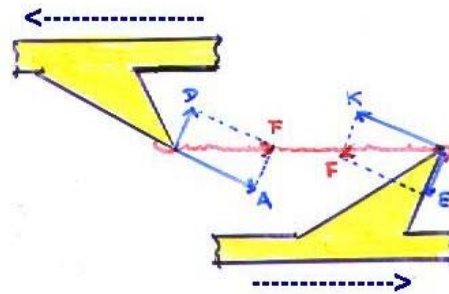


Figura 4.55

POSICIÓN "SACADO" ("PUNTA CODO")

- 1) Las dos superficies avanzan en el mismo sentido pero una a mayor velocidad que la otra.
- 2) Las dos superficies avanzan en sentido contrario, a igual o a diferentes velocidades.

Siempre hay "sacado" pues se descarga más material de una superficie a otra. Las fuerzas resultantes A y D , la longitud del "gancho" así como el ángulo de ataque del diente o púa, favorecen que la fibra se desprenda hacia una u otra superficie. En el caso que se ilustra (Figura 4.55) hay mas posibilidad de que la fibra (en rojo) sea arrastrada por el diente de abajo.

La fuerza centrífuga producida por el giro de los tambores tiene alguna significación solo en el tambor de mayor diámetro ("gran tambor" o "swift") y se agrega a las fuerzas que tienden a "sacar" la fibra. La separación o "luz" entre las superficies cardantes debe ser ajustada y regulada y es muy importante que se mantenga lo más constante posible.

3.4.0- COMBINACIONES POSIBLES ENTRE GUARNICIONES CONTIGUAS

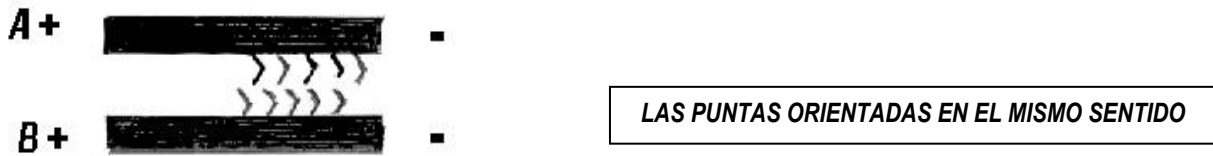


Figura 4.56

SENTIDO DE AVANCE	VELOCIDADES	POSICIONES	RESULTADO
$A + B +$	$A > B$ $A = B$ $A < B$	<i>punta codo</i> <i>punta codo</i> <i>punta codo</i>	A se lleva la materia No se produce ninguna acción B se lleva la materia
$A - B -$	$A > B$ $A = B$ $A < B$	<i>punta codo</i> <i>punta codo</i> <i>punta codo</i>	B se queda con la materia o A la deja sobre B No se produce ninguna acción A se queda con la materia o B la deja sobre A
$A + B -$	$A > B$ $A = B$ $A < B$	<i>punta codo</i> <i>punta codo</i> <i>punta codo</i>	A se lleva la materia A se lleva la materia A se lleva la materia o B la deja sobre A
$A - B +$	$A > B$ $A = B$ $A < B$	<i>punta codo</i> <i>punta codo</i> <i>punta codo</i>	B se lleva la materia B se lleva la materia B se lleva la materia o A la deja sobre B



Figura 4.57

SENTIDO DE AVANCE	VELOCIDADES	POSICIONES	RESULTADO
$A + B +$	$A > B$ $A = B$ $A < B$	<i>punta punta</i> <i>punta punta</i> <i>punta punta</i>	La materia se reparte entre A y B . Hay cardado La materia se reparte entre A y B . Hay cardado La materia se reparte entre A y B . Hay cardado
$A - B -$	$A > B$ $A = B$ $A < B$	<i>codo codo</i> <i>codo codo</i> <i>codo codo</i>	Se forman "neps" Se forman "neps" Se forman "neps"
$A + B -$	$A > B$ $A = B$ $A < B$	<i>punta punta</i> <i>punta punta</i> <i>codo codo</i>	La materia se reparte entre A y B . Hay cardado No se produce ninguna acción Se forman "neps"
$A - B +$	$A > B$ $A = B$ $A < B$	<i>codo codo</i> <i>punta punta</i> <i>punta punta</i>	Se forman "neps" No se produce ninguna acción La materia se reparte entre A y B . Hay cardado

3.5.0- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CARDADO

- 1- TIPO DE GUARNICIÓN
(rígidas, flexibles o semirígidas)
- 2- SEPARACIÓN ENTRE LAS GUARNICIONES CONTIGUAS
(“luz”, “setting” o “galga”)
- 3- SENTIDO DE DESPLAZAMIENTO DE LAS GUARNICIONES CONTIGUAS
(en sentido contrario o en el mismo sentido con diferencia de velocidades relativas)
- 4- VELOCIDAD LINEAL RELATIVA DE LAS GUARNICIONES CONTIGUAS
(generalmente va en aumento en el sentido de avance del material)
- 5- ORIENTACIÓN DE LAS PUNTAS Y CODOS EN LAS GUARNICIONES CONTIGUAS
(punta punta, punta codo)
- 6- DENSIDAD DE PUNTAS DE LAS GUARNICIONES
(cantidad de puntas por unidad de superficie/minuto)
- 7- VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DEL MATERIAL
(Kg/minuto)

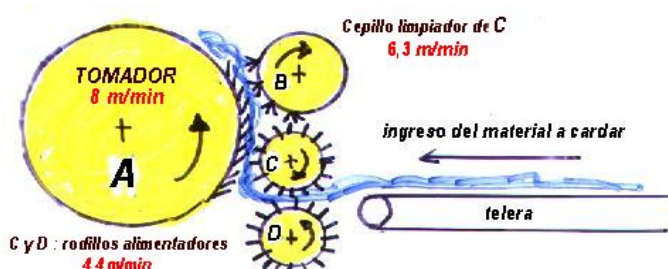
3.6.0- CARDAS LANERAS (descripción general de su funcionamiento)

Una carda lanera debe trabajar **lenta y progresivamente** para evitar la excesiva rotura de fibras ya que la lana es, relativamente, de baja resistencia a la tracción. Por tanto, para obtener una producción en kg/hr relativamente alta, las cardas laneras son, en general, de considerable tamaño (ver figuras en páginas anteriores). Para lograr que el trabajo sea lento y progresivo las RPM de los cilindros y tambores, así como la densidad de púas o dientes de las guarniciones, aumentan gradualmente en el sentido de avance del material a cardar. En cambio, la “luz”, “setting” o “galga” entre los rodillos y tambores, disminuye con el avance del material.

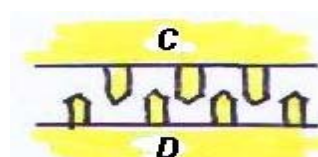
En una carda lanera, de sistema de hilatura peinado, se pueden señalar las siguientes secciones: **1) alimentación** (“tomador” o “licker-in” o “taker-in”), **2) precardado** (“avantren”), **3) separación de impurezas** (“moreles” y “peraltas”), **4) cardado** (“gran tambor” o “swift”), **5) quitador** (“doffer”), **6) formación del velo** (y de la mecha). En una carda lanera de sistema de hilatura cardado se agregan, **7) división de velo en cintas** y **8) formación de la mecha e inserción de falsa torsión** (“divisor rotofrotador”).

1) Alimentación

Debe ser regular y continua pues en caso contrario el título del hilado final presentará irregularidades de largo periodo. Como en todo proceso continuo, **todo lo que entra a la carda será igual a lo que sale más la acumulación**. Como veremos más adelante se produce acumulación de fibras en el “gran tambor”, en los “trabajadores” y “peladores” durante el trabajo de cardado. En general la lana, limpia y lavada, se alimenta desde una tolva, a una balanza intermedia que descarga regularmente sobre una telera que transporta el material hasta los cilindros **alimentadores** y estos hacia el “**tomador**” (o “**licker-in**” o “**taker-in**”). Las guarniciones del último cilindro “**alimentador**” y las del tambor “**tomador**” están en posición **punta codo** de manera que el “**tomador**” se lleve material (ver figura 4.58).



Figuras 4.58 y 4.59



2) Precardado y Cardado

Las lanas gruesas, sueltas y fáciles de cardar, en general, requieren solo una etapa de precardado y una de cardado. En esos casos la carda consta solo de un “**avantren**” de precardado y de un “**gran tambor**” (o “**swift**”) para el cardado principal. En cambio, para las lanas finas, ensortijadas y difíciles de cardar, la carda debe tener por lo menos un “**avantren**” y dos “**gran tambor**”. El “**avantren**” y el “**gran tambor**” poseen varios pares de cilindros “**trabajadores**” y “**peladores**” (ver Figuras 4.60 y 4.61). El “**avantren**” tiene, en general, tres pares y el “**gran tambor**” cinco pares. En el “**avantren**” y en el “**gran tambor**” se realizan las acciones principales del cardado: **separación individual, paralelizado y mezclado de fibras**.

Las guarniciones del “**gran tambor**” (“**swift**”) y el “**tomador**” (“**lickerin**”) están en posición “**punta codo**” (o de “**quitado**”) para que el “**gran tambor**” se lleve el material. Los rodillos “**trabajadores**” giran mucho más lento que el “**gran tambor**”. Las guarniciones de los “**trabajadores**” y del “**gran tambor**” están en posición “**punta punta**” (o de “**cardado**”) de tal manera que ambos se llevan material. Las guarniciones de los “**peladores**” y “**trabajadores**” están, entre sí, en posición “**punta codo**” (o de “**quitado**”) de forma que el “**pelador**” que gira más rápido que el “**trabajador**” y más lento que el “**gran tambor**”, le quita todo el material al “**trabajador**”. El “**pelador**” tiene su guarnición en posición “**punta codo**” con la del “**gran tambor**”, dispuestas estas de tal forma que el “**gran tambor**” le quita todo el material al “**pelador**”.

Las fibras que son retiradas de la guarnición del “**gran tambor**” por los “**trabajadores**” en un punto dado, son devueltas al “**gran tambor**” por los “**peladores**” en un punto más atrás, cuya ubicación dependerá de la velocidad de giro del “**gran tambor**”. Estas fibras vuelven más separadas y paralelizadas a la vez que se va logrando una mezcla gradual y completa de las mismas. Se estima que las fibras pasan entre 5 a 10 veces del “**gran tambor**” a los “**trabajadores**” según la cantidad de pares de rodillos “**trabajadores**”/ “**peladores**” presentes. Cuanto mejor sea la mezcla del material en la carda, mejor será la regularidad del hilado final.

Si la luz entre todos los “**trabajadores**” y el “**gran tambor**” fuera igual, el *poder colector* de cada “**trabajador**” sería menor que el que le antecede. Este *poder colector* se puede variar disminuyendo la “*luz*” o variando la *velocidad* del “**trabajador**” relativa al “**gran tambor**”. El efecto de mezcla será mayor si disminuimos la “*luz*” entre los “**trabajadores**” y el “**gran tambor**” que si aumentamos las *velocidades* de los “**trabajadores**” pues, en este último caso las fibras retornarán al “**gran tambor**” a intervalos más cortos.

Cuanto menor sea la longitud de la fibra menor es, en general, el *poder colector* de los “**trabajadores**”. Las impurezas, polvo y fibras muy cortas caen a través de **grillas** que hay por debajo del “**gran tambor**” y pasan a formar parte del “desperdicio de bajo carda”

Figura 4.60

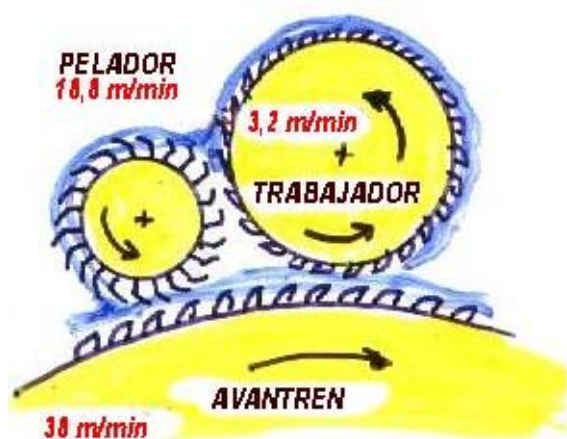


Figura 4.61



3) Separación de impurezas

Los restos de vegetales y materiales extraños, que aún puedan quedar en la lana lavada, se tratan de eliminar en la carda con la ayuda de algunos órganos especiales. Uno de ellos es el “**morel**” (llamado así en honor a su diseñador, técnico de la empresa francesa Thibeau, fabricante de cardas). El “**morel**” consta de un cilindro con un tipo de guarnición que permite que las fibras penetren a su interior mientras que las impurezas más grandes quedan en su superficie, de donde son barridas por un rodillo aspado o “**desmotador**”. La “**luz**” entre el “**morel**” y las aspadas del “**desmotador**” es muy pequeña.

Otros órganos de carda empleados para la separación de impurezas son los “**peraltas**” o pares de rodillos lisos y cromados que trabajan a gran presión. La lana pasa a través de los rodillos y la materia vegetal es aplastada y pulverizada, lo que facilita su posterior separación. En general para las lanas uruguayas es suficiente la presencia en la carda de dos “**moreles**” y un “**peralta**”. En el sistema de hilatura cardado debido a la naturaleza de la materia prima, en general, se usan solo “**peraltas**”. Con los “**moreles**” se perdería un porcentaje muy alto de fibras.

5) Formación del velo y de la mecha de carda

Las guarniciones del “**volante**” (o “**fancy**”) están en posición “codo a codo”. Son las únicas guarniciones de la carda que están esta disposición que, en general, puede producir “neps” y “enredos”. En este caso, sin embargo, debido a las largas y flexibles púas de la guarnición del “**volante**” las fibras metidas en la guarnición del “**gran tambor**” reciben una especie de “latigazo” que las va levantando y dejando en la superficie de la guarnición del “**gran tambor**” para que el cilindro “**quitador**” (o “**doffer**”) las saque.

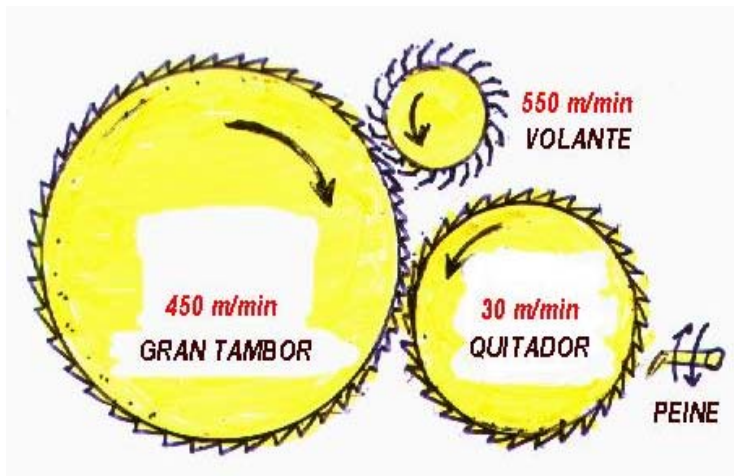


Figura 4.62

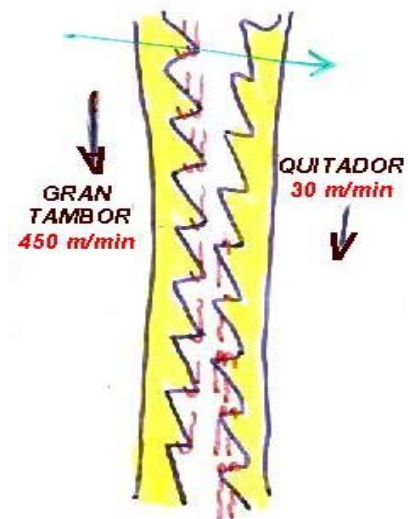


Figura 4.63

Aunque parezca contradictorio las guarniciones del “**quitador**” con respecto a las del “**gran tambor**” no están en posición de “quitado” (“**punta codo**”), sino en posición “cardante” (“**punta punta**”). Es decir el “**quitador**” no “quita” todo el material sino un dado porcentaje, de manera que lo que queda en el “**gran tambor**” se sigue cardando, es decir se continúa separando, paralelizando y mezclando durante un tiempo adicional.

Las fibras al ser tomadas por el “**quitador**” quedan con sus “ganchos” hacia atrás y así saldrán en el velo y en la mecha de carda. Como la mecha de carda se enrollará en una bobina o se almacenará en forma helicoidal dentro de un “tacho”, lo que antes era “cabeza” de mecha, en la operación siguiente pasa a ser “cola”. Quiere decir que la mecha entrará a la máquina siguiente (“**pasajes**” de estirado) con ganchos delanteros. Cada vez que se pasa de una máquina a otra se irá invirtiendo el sentido de los ganchos. La presencia de “ganchos” traseros o delanteros en la

mecha, la longitud del “gancho” y la “extensión” de la fibra, es de gran importancia, sobre todo en la operación de “peinado”, pues puede ser la causa de que haya mayor o menor rotura de fibras.

Finalmente, un “**peine oscilante**” de gran frecuencia va quitando el velo del “**quitador**”. En el **sistema de hilatura peinado** ese velo se reúne en forma de mecha a la que se le inserta algo de falsa torsión (*esta torsión quita algo del paralelismo que traían las fibras pero mejora la cohesión de la mecha*). La mecha de carda puede ser arrollada en forma de bobina o puede ir a tachos, lo que es algo mejor pues se ensucia menos y es más fácil de sacar en la operación siguiente. En el **sistema de hilatura cardado** el velo se divide en **cintas** en un mecanismo **divisor del velo**, y cada cinta es redondeada recibiendo falsa torsión por medio de un mecanismo de **rotofrotación** (ver Figuras 4.31 y 4.32).

3.7.0- CARDAS ALGODONERAS (descripción general de su funcionamiento)

El cardado del **algodón** es más sencillo que el de la **lana** por varias razones. Primero, el algodón es una fibra más corta, más rígida y más resistente que la lana. Segundo, el algodón no se lava sino que se abre y limpia intensamente en operaciones previas al cardado y llega entonces semipreparado al cardado, conservando las ceras y pectinas naturales que actúan de lubricantes. La lana en cambio debe ser lavada y secada y, aunque estas operaciones se hagan cuidadosamente, siempre se producen enredos que deben ser abiertos lentamente, agregando ensimajes como lubricante. Por tanto el **algodón puede ser cardado a mayores velocidades en máquinas más sencillas y más chicas**.

Las secciones de una carda algodонера son: **1) alimentación** (“tomador” o “licker-in” o “taker-in”), **2) cardado** (“gran tambor” o “swift” más “chaponés” o “flats”), **3) formación del velo** (quitador o “doffer” más peine vibrador).

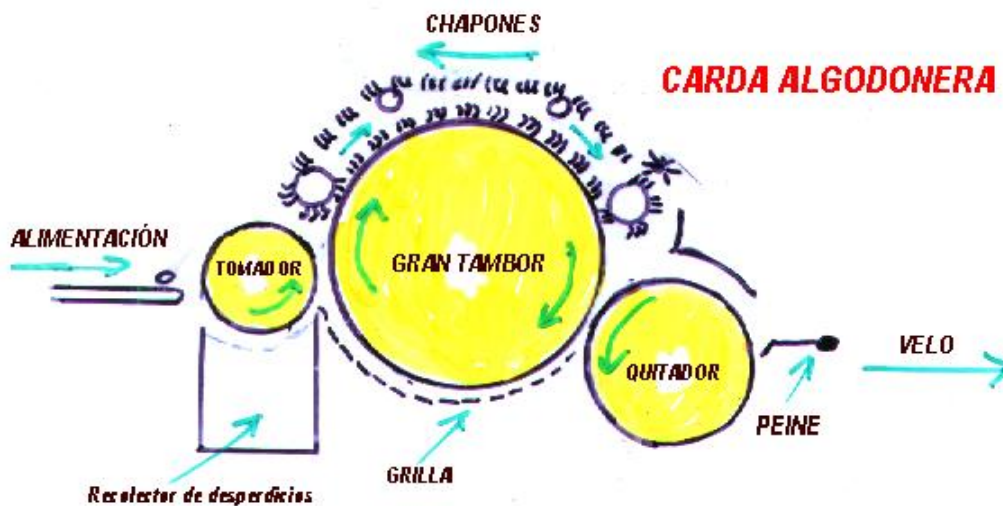


Figura 4.64

1) Alimentación

Actualmente, en las hilanderías más modernas, la alimentación a la carda se hace por transporte neumático de las **flocas** de algodón, directamente desde el Sector de Apertura y Limpieza. En hilanderías más antiguas, luego de abrir, limpiar y mezclar, se prepara, en un equipo llamado **batán**, una **manta** de algodón con la que se alimenta la carda.

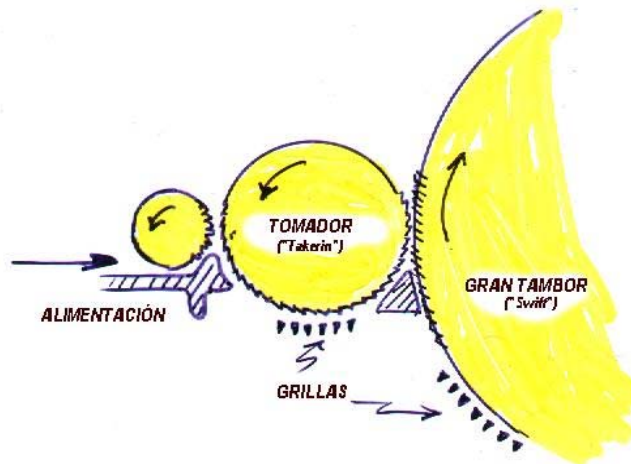


Figura 4.65

TOMADOR

Cilindro de hierro fundido de aprox. 250 mm de diámetro que gira a unas 800-1500 rpm, y con una velocidad lineal de unos 800 m/min. Sus guarniciones rígidas están "punta codo" con el Gran Tambor, de manera que este se lleve la mayor parte del material.

Los ángulos α de los dientes de guarnición rígida van de 15°(-) a 20° (+) según el tipo de materia prima a procesar.

2) Cardado

La operación de cardado se realiza por la acción del "gran tambor" ("swift") y los "chapones" ("flats"). Los "chapones" son en general barras de hierro fundido colocadas a lo ancho del "gran tambor", formando una banda sin fin. Pueden ser 100-120 en total, de los que unos 40-46 están en contacto con el "gran tambor" mientras el resto se está limpiando y regresando.

Los "chapones" poseen guarniciones flexibles, con ángulos bien agresivos, para sacar material. Están en disposición "punta punta" ("cardante") con las guarniciones rígidas del "gran tambor", por tanto ambas guarniciones se llevan material. Los "chapones" se llevan principalmente la parte de arriba de la napa de fibras que trae el "gran tambor". En la parte de arriba de esta napa se encuentran fibras cortas, "neps" e impurezas que han sido "levantadas" por la fuerza centrífuga, lo que es favorecido por la poca profundidad de la guarnición rígida del "gran tambor" que se queda con la mayor parte de las fibras largas.

El material retirado por los "chapones", no regresa al "gran tambor" pues es sacado por cepillos limpiadores (ver Figura 4.64) y pasa al desperdicio "bajo carda". Los "chapones" vuelven limpios a tomar contacto con la guarnición del "gran tambor". La carda algodonera por tanto solo separa, paraleliza y limpia, no mezcla: el mezclado se hace, previamente e intensamente, en la Sección de Apertura y Limpieza.

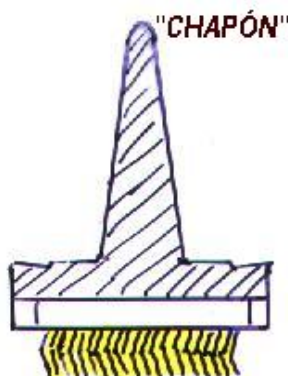


Figura 4.66



Figura 4.67

Los "chapones" pueden girar en el mismo sentido o en sentido contrario con respecto al "gran tambor". En las cardas modernas, en general, giran en sentido contrario de manera que los "chapones" que primero hacen contacto con el "gran tambor", son los que se llevan la mayor

parte de las impurezas. Hay también cardas con “chapones” fijos que deben ser limpiados periódicamente.

Las guarniciones rígidas del “gran tambor” tienen dientes cortos de bajo ángulo ($\alpha = 15-30^\circ$) lo que le da poco poder de retención y permite una fácil transferencia de fibras a los “chapones” y al “quitador”. Están “punta codo” con el “tomador”, al que le quitan material, y “punta punta” con los “chapones” y con el “quitador”, con los que reparte material en acción cardante.

3) Formación del velo

Igual que en las cardas laneras, el “quitador” de la carda algodónera trabaja en disposición “cardante” con respecto al “gran tambor”, es decir con sus guarniciones “punta punta”, con ambas guarniciones llevando material.

El “quitador”, también en forma similar a lo que ocurre con la carda lanera, cambia el sentido de los “ganchos” de las fibras: en el “gran tambor” las fibras vienen con ganchos delanteros y el “quitador” al tomarlas las deja con ganchos traseros.

Si el “quitador” no quita lo suficiente, la guarnición del “gran tambor” se recarga de fibras que son trabajadas excesivamente y hay más formación de “neps”. Si por el contrario el “quitador” quita demasiado, la carda perderá capacidad de separación de fibras cortas e impurezas y aparecerán problemas de regularidad en la mecha.

A la salida, el velo de carda es condensado en una mecha que se bobina o va a tachos, pronta para la etapa siguiente de **estirado** (que en el caso del algodón se hace en máquinas conocidas como “manuales”).

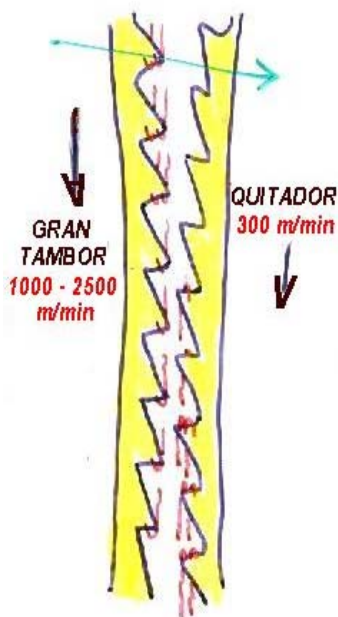


Figura 4.68

RUTINAS DE MANTENIMIENTO DE LAS GUARNICIONES

- 1) “**Desborrado**” o limpieza. Generalmente después de 40-80 hr de trabajo. Puede ser manual o automático.
- 2) “**Esmerilado**” o afilado. Se giran las guarniciones “de codo” contra un cilindro forrado de esmeril. Para el algodón después de 200-300 hrs de trabajo, cuando empiezan a aparecer “neps”. Para la lana después de 500 hrs de trabajo.
- 3) “**Ajuste**” de las distancias (“galga” o “setting”) entre las puntas de guarniciones. Se ajusta cada vez que se cambia de materia prima y después del esmerilado.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- “**Spun Yarn Technology**”, Eric Oxtoby, Butterworths, Borough Green, Sevenoaks, Kent TN15 8PH, England, 1987
- 2- “**A Practical Guide to Opening and Carding**”, W. Klein, Short-staple Spinning Series, Vol. 2, The Textile Institute, 10 Blackfriars Street., Manchester M3 5DR, UK, 1987
- 3- “**Reports to Topmakers**”, CSIRO Division of Textile Industry, P.O.Box 21, Belmont, Victoria, Australia

4.0.0- REUNIÓN Y ATENUACIÓN DE CINTAS

Una cinta de carda contiene de **20.000 a 40.000 fibras por sección**. Esta cantidad debe ser reducida o "**atenuada**", a medida que el proceso de hilatura progresa, hasta **50-100 fibras por sección** para la mayoría de los hilados (ver "*Límite de Hilabilidad*" en Sección 2.1.0, Capítulo 2, "*Fibras Textiles*").

Esta "**atenuación**" se logra de dos formas: **1)** por **eliminación de fibras**, que puede ser "*no intencional*" al enviar fibras al desperdicio en la apertura, limpieza y cardado, o "*intencional*", como en la operación de *peinado* en que se retiran las fibras más cortas (ver Sección 5.0.0); y **2)** por el **estirado** de las cintas de manera que, venciendo la fricción interfibrilar, las fibras se desplazan en forma longitudinal y paralela, unas con respecto a otras.

La "**atenuación**" será entonces: **ATENUACIÓN = ESTIRADO (100 / 100-p)**, donde **p** es el % de **fibras por sección** que se eliminaron o enviaron al desperdicio. Con el **estirado** ("*drafting*" en inglés), además de la **atenuación** de la cinta o disminución de las fibras por sección, se busca aumentar el **paralelizado** de las fibras entre sí. El **estirado** se realiza en forma gradual y progresiva, en equipos que constan básicamente de *pares de rodillos estiradores* y de *mecanismos para el control de las fibras*. Estos equipos son distintos de acuerdo a la naturaleza de las fibras y a la etapa del proceso de hilatura en que debe hacerse el estirado. En la hilandería algodonera estos equipos se conocen como "**manuales**" y en la hilandería lanera como "**pasajes**". Los **manuales** actualmente alcanzan velocidades de producción de 700 m/min.

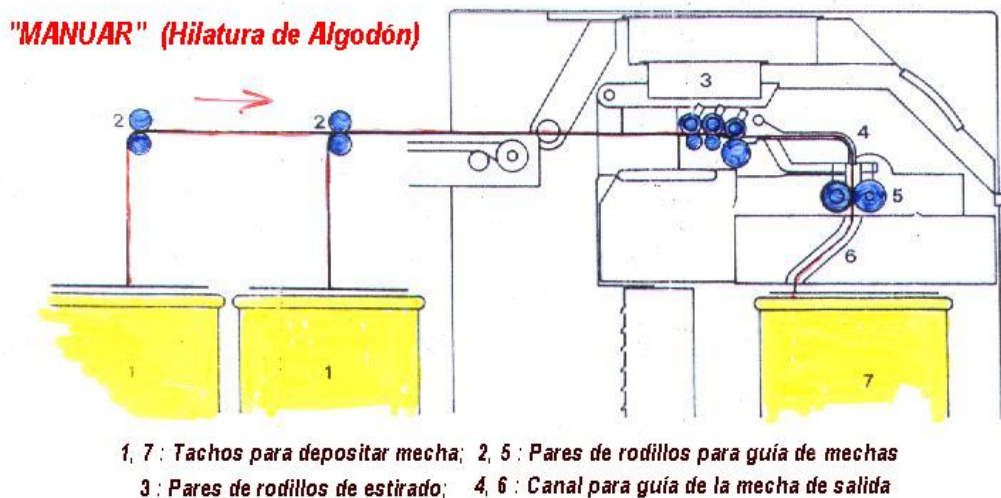
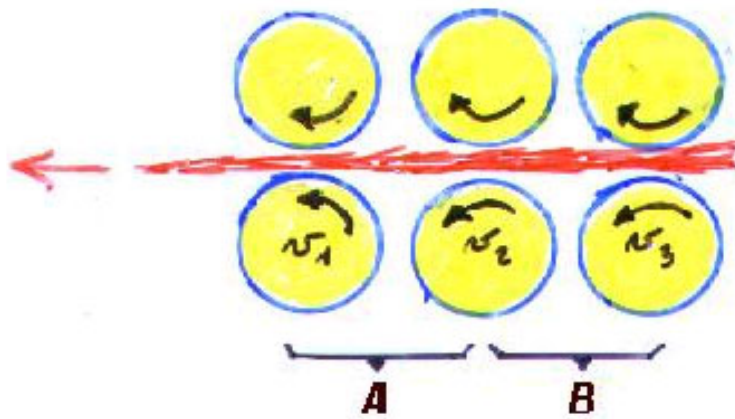


Figura 4.69

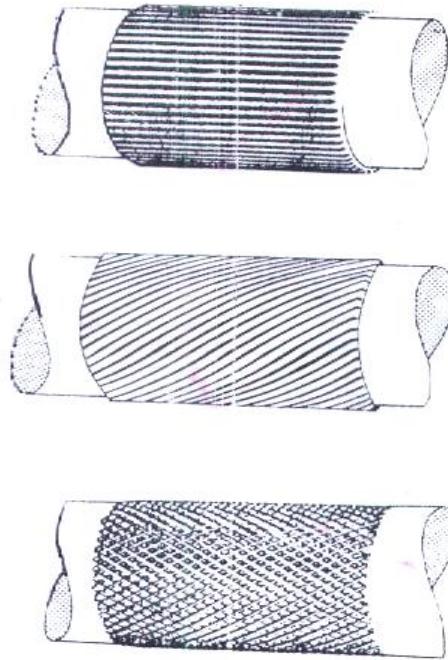
4.1.0- ESTIRADO

El procedimiento de estirado es muy sencillo: la cinta en su avance, va encontrando pares de rodillos que giran más rápido que el par anterior, de manera que la cinta sufre un estiramiento con reducción de su cantidad de fibras por sección y por tanto de su densidad lineal. Los primeros rodillos de estirado fueron construidos en madera, en 1738, por los ingleses Lewis Paul y Jhon Wyatt (ver Capítulo 1, "*Origen y Evolución de la Tecnología Textil*"). Actualmente son de aleaciones metálicas especiales y de diversos diseños. En general, el rodillo inferior del par es el que está accionado directamente y presenta estrías de diverso diseño para evitar que las fibras se deslicen. El rodillo superior ejerce presión sobre el inferior y en general está recubierto de goma sintética (*para lograr un buen pinzado de la cinta*) y es arrastrado por el inferior.



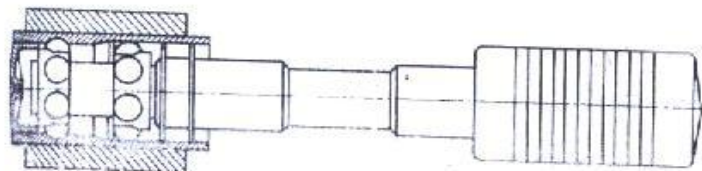
A: campo de estiraje principal, B: pre estiraje
Estiraje Total = Estiraje en B x Estiraje en A

Figura 4.70



RODILLOS INFERIORES CON DISTINTOS TIPOS DE ESTRIAS

Figura 4.71



RODILLO SUPERIOR CON SU EJE Y RODAMIENTOS

Figura 4.72

Se define el “**estiraje calculado**” (o “**perfecto**”) como $D = v_2 / v_1$ donde v_2 y v_1 son las velocidades periféricas o lineales de los pares de rodillos de salida y de entrada de la cinta, respectivamente. En cambio se define como “**estiraje real**” a $D' = \phi_2 / \phi_1$ o $D' = \sqrt{\text{tex}_2} / \sqrt{\text{tex}_1}$, donde ϕ_1 y ϕ_2 son los **diámetros aparentes** de la cinta a la entrada y a la salida del **campo de estirado** respectivamente, y tex_1 y tex_2 son los títulos en tex de las cintas a la entrada y a la salida del **campo de estirado**, respectivamente.

Idealmente el desplazamiento longitudinal de una fibra con respecto a otra debería ser igual al **estiraje calculado**. Sin embargo debido a la **fricción interfibrilar** existe un gradiente de fuerzas desde la superficie externa al interior de la cinta y el “**estiraje real**” será siempre menor al “**estiraje calculado**”. Además de la **fricción interfibrilar**, el rizo, la elasticidad, la desorientación y el enredado de las fibras también contribuyen a que $D' < D$. La relación D' / D generalmente aumenta al aumentar el estiraje real D' . Conocido el **estiraje real** D' y el **tex** de la cinta a la **entrada del campo de estirado**, se puede calcular el **tex** a la **salida**.

4.2.0- REUNION DE CINTAS

La reunión de varias cintas y su estirado en conjunto para obtener una única cinta, tiene por finalidad: **1)** la **mezcla** de fibras de diferente naturaleza o calidad, **2)** la mejora de la **regularidad** de la cinta resultante, ya que se compensan entre sí las irregularidades de las cintas mezcladas y, **3)** la mejora del **paralelizado** de las fibras en la cinta resultante.

Lo más común es que la cantidad de cintas reunidas y estiradas sea igual al estiraje real D' , de forma que el título de la cinta que sale es igual al de las que entran. Si la cantidad de las cintas reunidas es mayor o menor al estiraje real D' el título de la cinta final será diferente al de las iniciales. Los estirajes reales D' en general van de 2 a 8 con reunido previo de cintas o, de 1,5 a 3 si no hay reunido de cintas. Una secuencia típica de estirado y reunido para una hilandería de algodón por sistema peinado puede ser como sigue:

TABLA 4.8

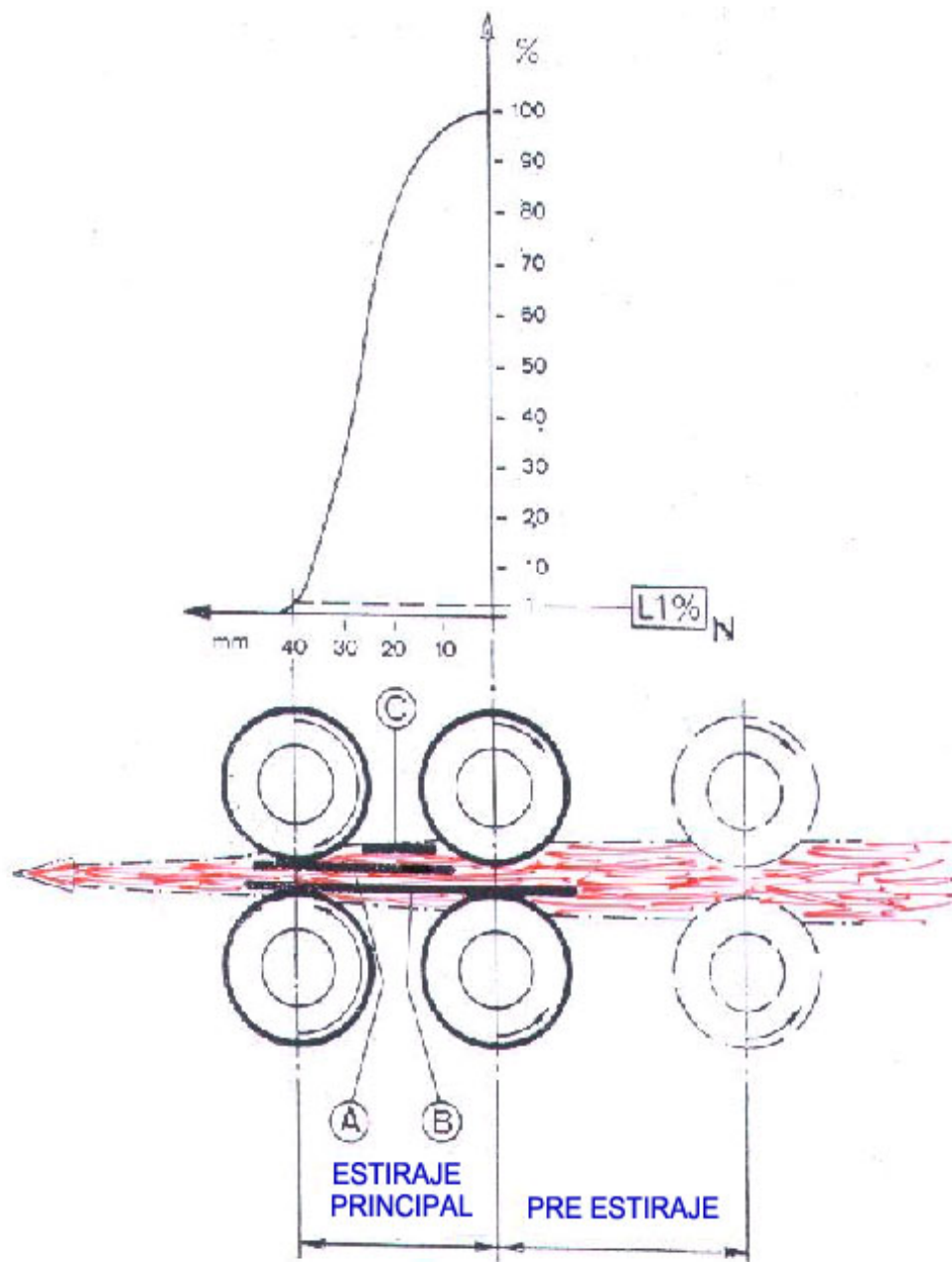
	ESTIRAJE REAL D'	CINTAS REUNIDAS
1er. pasaje de manual	8	8
2do. pasaje de manual	8	8
mechera	10	-
continua de anillo	25	-

Los dos estirajes sucesivos ($D' = 8$) con correspondientes reuniones de 8, implica el mezclado de 64 cintas de carda. Los estirajes indicados en la *Tabla 4.8*, en general no se realizan en un solo paso de estiraje sino que, gradualmente, en varios pasos sucesivos. El estirado excesivo en un solo paso genera irregularidad en la cinta.

Es interesante señalar que también existe un “estiraje” de la carda, ya que esta estira la *manta de materia prima* que viene del “*Blow Room*” a un “velo de carda”. Este estiraje se estima en un valor de 100 aproximadamente.

4.3.0- CONTROL DE FIBRAS

La separación o “**ecartamiento**” entre pares de rodillos sucesivos puede ajustarse según el largo promedio y el CV% del largo de las fibras que componen la cinta que se está estirando. Para cada partida de materia prima los diagramas acumulados de largo de fibra y, en el caso del algodón, el diagrama “**Tuft**”, constituyen la información imprescindible para que el Jefe de Hilandería establezca los “**ecartamientos**” adecuados en los “**manuales**” o “**pasajes**” (*ver Capítulo 2, Fibras Textiles, Sec. Propiedades Morfológicas, Largo de Fibras*).



**RELACIÓN ENTRE EL ECARTAMIENTO
Y EL DIAGRAMA DE LARGO DE FIBRAS**

Figura 4.73

La separación o “ecartamiento” entre los rodillos determina lo que se llama un “**campo de estirado**” en el que las fibras pueden estar “pinzadas” o no, tanto por el par de rodillos trasero como por el delantero. Será entonces necesario “**controlar**” de alguna forma a las fibras que queden sueltas en ese “**campo de estirado**”, para evitar que la cinta pierda cohesión y se desorganice. Hay diferentes tipos de **mecanismos de control de fibras**: **1)** las guías de cinta como las “banditas” de goma utilizadas en los “manuales” para algodón, o **2)** el aumento de la fricción interfibrilar como resulta del uso de “púas” en los “pasajes” o “gill intersectings” utilizados en las hilanderías de lana peinada (ver Figuras 4.76 a 4.79).

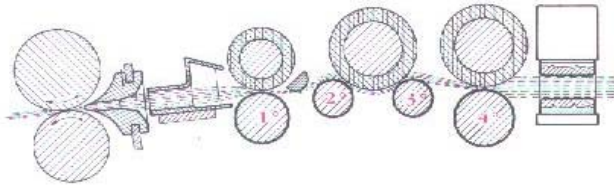


Figura 4.74

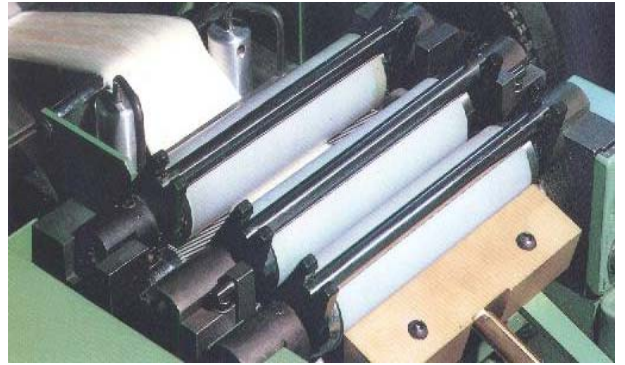


Figura 4.75

TREN DE ESTIRADO



Figura 4.76

MANGUITOS PARA EL CONTROL DE LAS FIBRAS EN EL CAMPO DE ESTIRADO

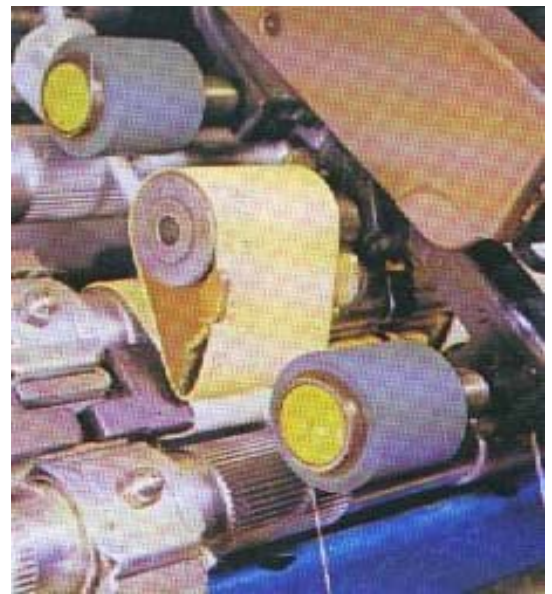


Figura 4.77

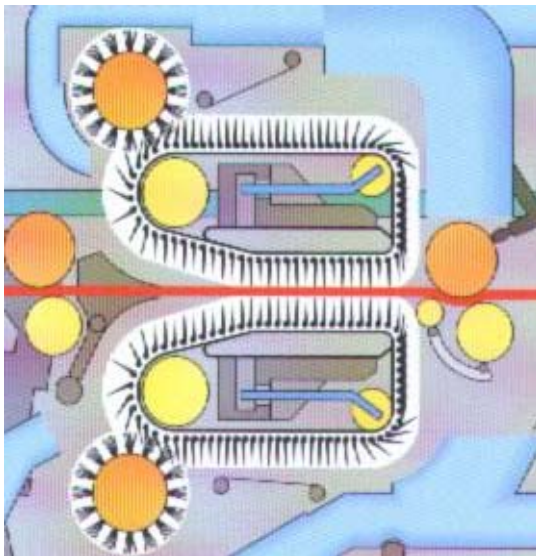


Figura 4.78



Figura 4.79

"GILL INTERSECTING" DE CADENA

4.4.0- ESTIRADO Y REGULARIDAD

Supongamos o imaginemos la situación ideal en que trozos de cintas tienen todas N fibras de la misma naturaleza, de igual largo y sección aparente. La probabilidad de que luego de reunir y estirar estas cintas varias veces, se logre una cinta que tenga *la misma cantidad n de fibras por sección transversal, cualquiera sea la sección considerada a lo largo de la cinta*, es tan baja que puede considerarse nula. Existirá por tanto una **irregularidad límite** que no puede mejorarse (ver Capítulo 5, "Irregularidad de Masa en Hilados").

Si continuamos estirando esa cinta, **aún suponiendo un "estiraje perfecto"** (o "calculado") en el que no hay rozamiento interfibrilar y todas las fibras avanzan **controladas** a las velocidades de los pares de rodillos, **la irregularidad de masa aumentará de todas formas**, pues la cantidad de fibras por sección irá disminuyendo de sección en sección, como resultado del estirado. Es decir que **el estirado, aún en el caso ideal de que fuese perfecto, siempre introducirá irregularidad** (ver Figura 4.80).

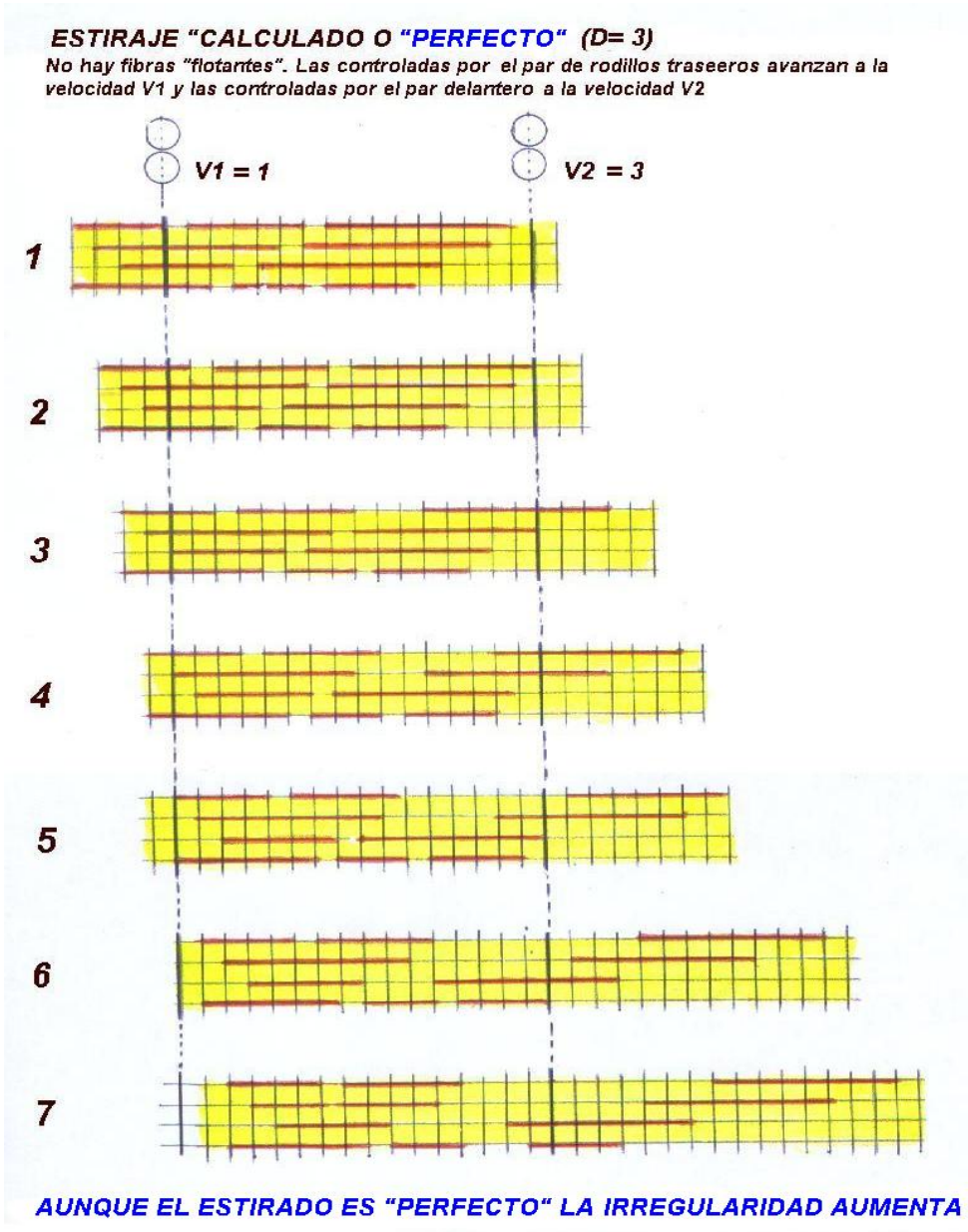


Figura 4.80

Si el CV % del largo de fibras es muy alto, es decir si se trata de una materia prima con una gran dispersión de los valores del largo, durante gran parte de la travesía por el “campo de estiraje” habrá más cantidad de fibras cortas que no serán pinzadas ni por el par trasero ni por el par delantero de rodillos. Estas fibras se conocen como “**fibras flotantes**” o “**incontroladas**”. P.ej. si la fibra mide 10 mm de largo y el ecartamiento entre pares de rodillos es de 50 mm la fibra será “flotante” durante 4/5 de su recorrido. Si mide 40 mm será “flotante” sólo 1/5 de su recorrido.

COMPORTAMIENTO DE LAS FIBRAS EN UN CAMPO DE ESTIRAJE

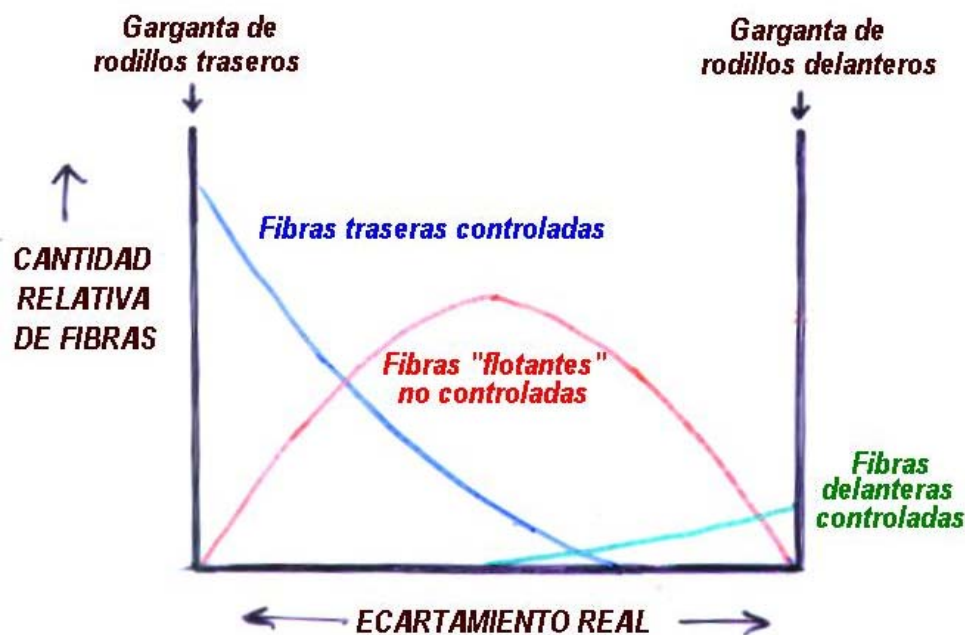


Figura 4.81

Como en el **estiraje real** hay rozamiento interfibrilar, las “**fibras cortas flotantes**” serán arrastradas, por fricción, por las fibras contiguas más largas. Sus velocidades v podrán tomar cualquier valor entre v_1 y v_2 . y al ser arrastradas pueden formar “**paquetes**”, produciéndose una zona de cinta más gruesa. El par de rodillos delanteros, al tomar ese “paquete” o zona de cinta más gruesa, debe hacer más fuerza, provocando un “tirón” o mayor estiraje en la parte de cinta que viene detrás y por tanto una zona más delgada. El resultado final es una sucesión de zonas más gruesas y más delgadas o sea un aumento de la irregularidad de sección aparente o de masa. Esto quiere decir que si el **estiraje perfecto ideal**, produce un aumento de la **irregularidad límite** (CV_{lim}), el **estiraje real** agregará **irregularidad real** o más irregularidad (CV_{real}). **La finalidad principal de la operación de peinado es justamente retirar “fibras cortas flotantes”, para evitar el aumento de irregularidad real que ellas causan durante el estiraje y mejorar así la calidad final del hilado (ver Sec.5.0.0. “Peinado”)**

La reunión o mezcla de cintas mejora la regularidad del hilado resultante, pero el estirado subsiguiente, que necesariamente debe hacerse cada vez que se reúnen cintas, vuelve a introducir irregularidad. **Quiere decir que el reunido y el estirado tienen efectos antagónicos y generalmente no se logran mejores resultados haciendo más de dos o tres sucesivos.** Los equipos modernos de “**autorregulación**” han reducido en cierto grado la cantidad de “reuniones de cintas” necesarias para obtener una buena regularidad en el hilado final (ver Sec. 4.5.0).

Otro aspecto importante que tiene que ver con la regularidad de la cinta o mecha y del hilado final, es la práctica de invertir el sentido de estiraje al pasar de un “*manuar*” o de un “*pasaje*” a otro. Si siempre se estirara en el mismo sentido, la irregularidad que se introduciría sería enorme (ver Figura 4.82)

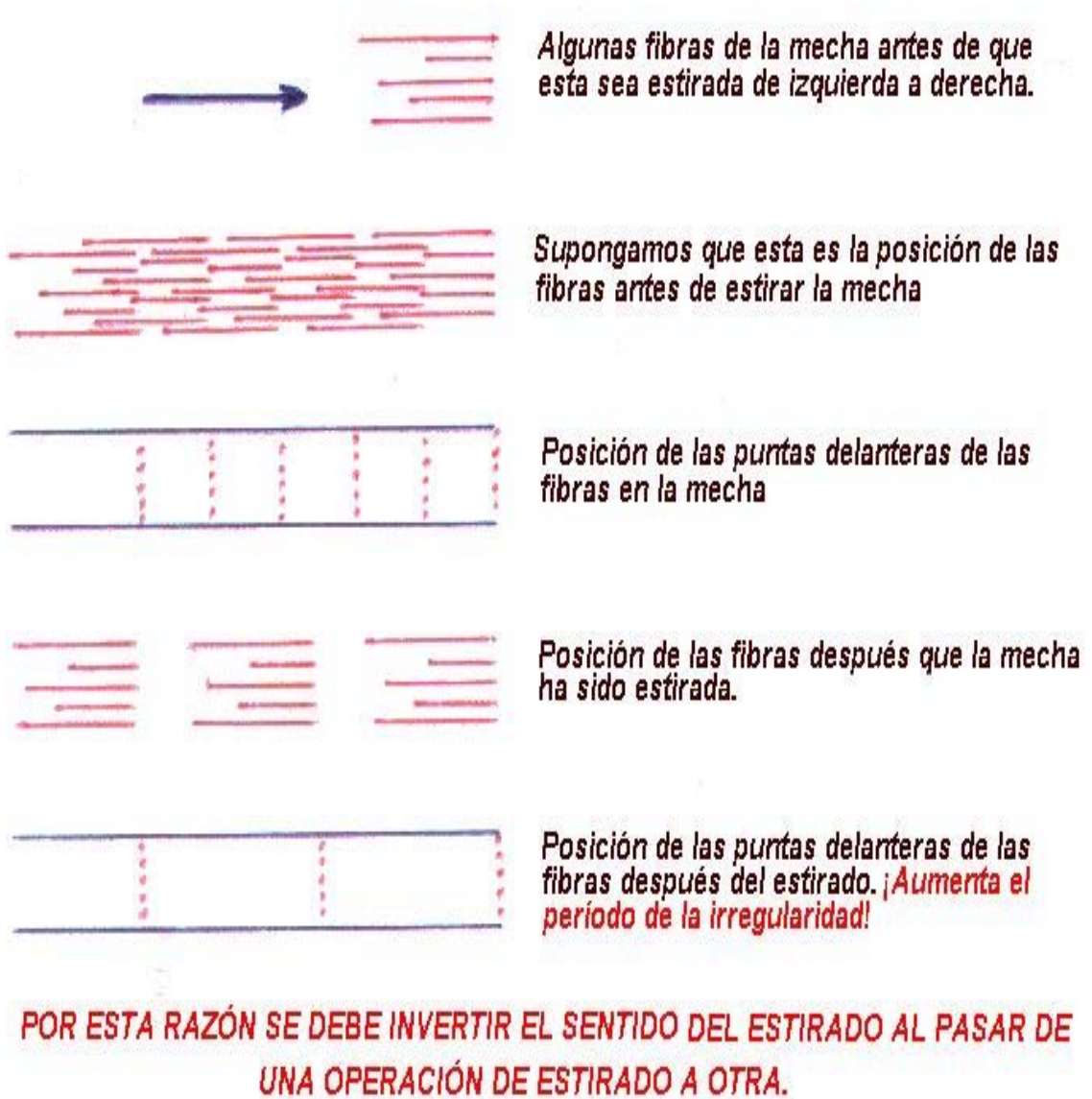


Figura 4.82

Los equipos de estirado representan aproximadamente un 5% del costo total de la hilandería, pero su contribución a la regularidad del hilado final es muy grande y la calidad del hilado no será nunca mejor que la calidad de la cinta que sale del estirado. Entonces, al proyectar una hilandería se debe pensar más en la calidad de los equipos de estirado que en su posible costo.

4.5.0- AUTOREGULACIÓN

Actualmente se dispone de equipos que miden las variaciones de espesor de la cinta en forma continua y modifican automáticamente el estiraje, de tal forma de aplicar más a las zonas gruesas y menos a las finas. La autoregulación puede ser **radical** o **conservativa**. La autoregulación radical controla el título de la cinta y su regularidad mientras que la conservativa sólo la regularidad y el título debe ajustarse con la alimentación. Las unidades de medida pueden ser mecánicas (“palpadores”) o neumáticas.

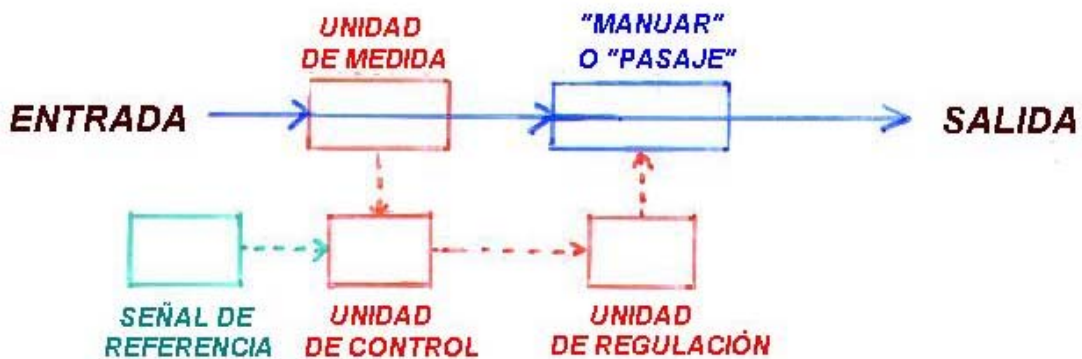


Figura 4.83

Equipo de “**SISTEMA ABIERTO**” o de control a la entrada. Estos equipos controlan mejor la regularidad de corto período.

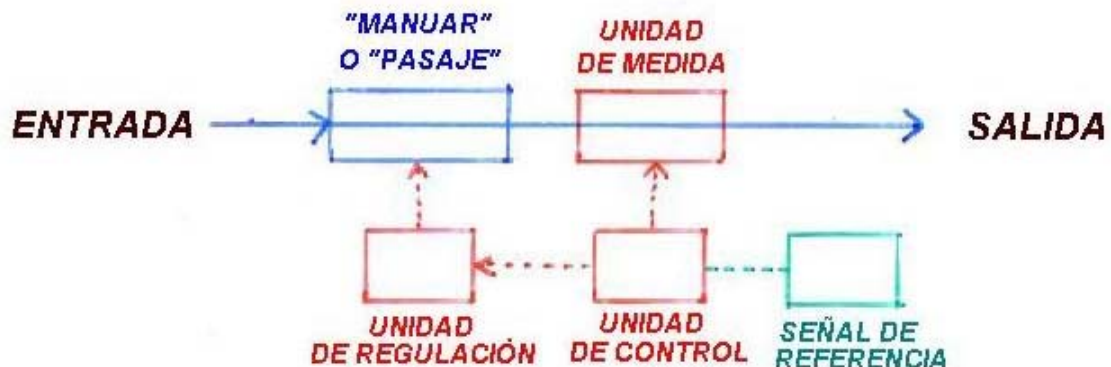


Figura 4.84

Equipo de “**SISTEMA CERRADO**” o de control a la salida. Estos equipos controlan mejor la regularidad de medio y largo período.

Pregunta: ¿En que puntos del proceso de hilatura convendría poner uno u otro?

BIBLIOGRAFÍA

- 1- “**Spun Yarn Technology**”, Eric Oxtoby, Butterworths, Borough Green, Sevenoaks, Kent TN15 8PH, England, 1987
- 2- “**A Practical Guide to Combing and Drawing**”, W.Klein, The Textile Institute, Short-staple Spinning Series, Vol. 3, 10 Blackfriars Street, Manchester M3 5DR, UK, 1987

5.0.0- PEINADO

La finalidad de la operación de **peinado** es **aumentar la calidad del hilado, mejorando la regularidad del mismo**. Para alcanzar esta meta: **1)** se **retiran “fibras cortas flotantes”**, disminuyendo así el CV% del largo de fibra, con lo que se minimiza la irregularidad que pueda introducir el **estirado** a que posteriormente se someta la cinta (ver Sección 4.0.0 “Reunión y Atenuación de Cintas”), **2)** se **paralelizan** las fibras y se enderezan sus “ganchos” y **3)** se **disminuye** el contenido de impurezas en la cinta, retirando polvo, “neps”, restos vegetales, etc. con lo que también se mejora la regularidad y el aspecto visual y el tacto del hilado.

La resistencia a la tracción de un hilado depende básicamente de: **1)** largo y resistencia a la tracción de las **fibras** que lo componen, **2)** cantidad e intensidad de **torsión** insertada y **3)** la **regularidad** que presente: p.ej. en condiciones similares (*mismo tipo de fibras, título, etc.*) se necesitará insertar menos torsiones a un hilado **peinado** que a uno **cardado** para que ambos tengan la misma resistencia a la tracción. En las Figs. 4.85 y 4.86 se puede apreciar que un hilado **peinado** de algodón (“muy fuerte”) de 25 tex, tendrá la misma resistencia a la tracción (500 cN) que uno **cardado** (“muy fuerte”) de 33 tex.

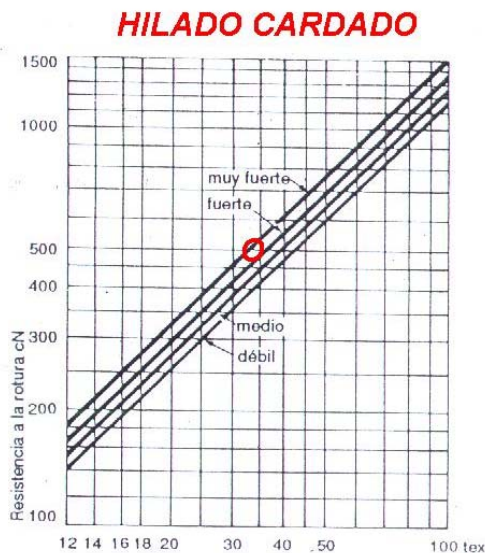


Figura 4.85

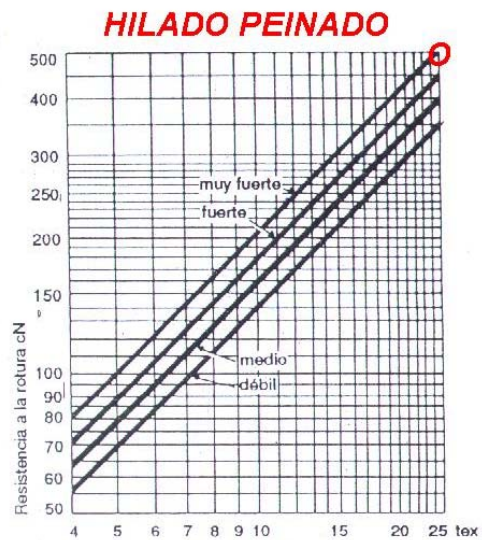


Figura 4.86

La operación de **peinado**, al retirar fibras cortas, implica entonces el envío de una determinada cantidad de fibras al “**desperdicio bajo peinadora**”. Al conjunto de fibras cortas separadas se le llama “**noil**” o “**blousse**” [“Noil” % = peso del “Noil” / (peso del “Noil” + peso de la mecha peinada)]. Los diagramas de fibra antes y después del peinado presentarían un aspecto similar a los que se muestran en la Figura 4.87, para una operación en la que, p. ej. se separasen la mayor parte de las fibras más cortas de 18 mm.

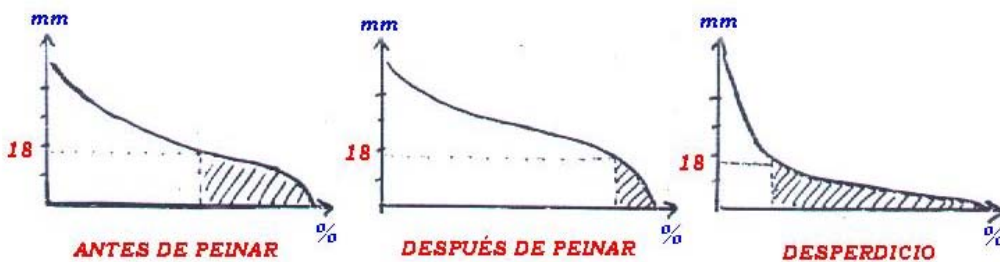
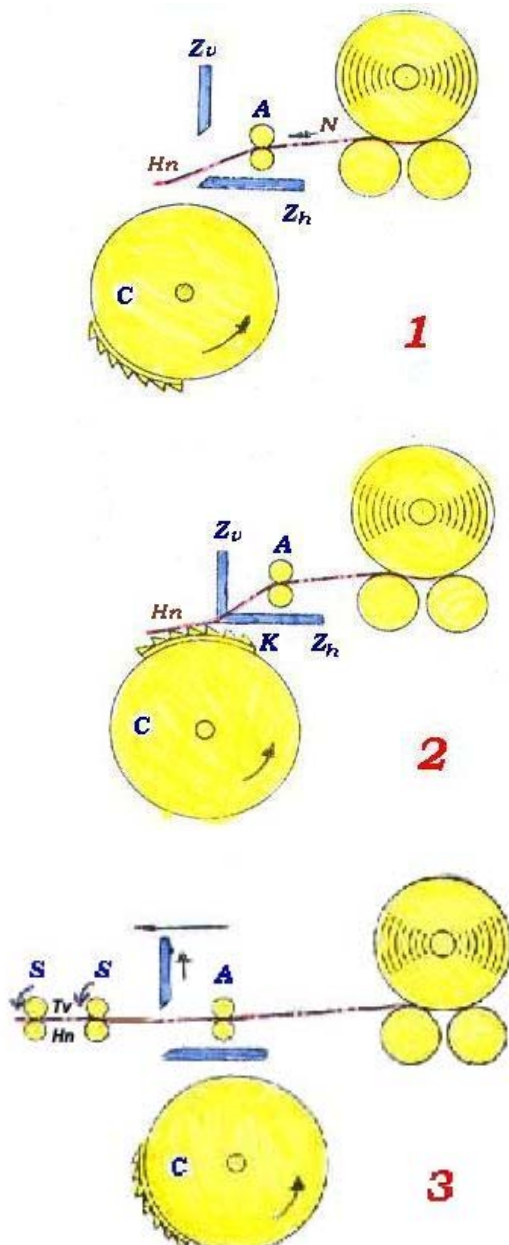


Figura 4.87

Para el algodón, en general, se establecen tres niveles de peinado según el porcentaje de desperdicio: **1) El superpeinado**, que se realiza cuando se trabaja con algodón de alta calidad, con bajo contenido de fibras cortas e impurezas, y se desea producir hilados muy delgados. En este caso el desperdicio "bajo peinadora" se fija en alrededor del 25%; **2) el peinado normal**, para algodones de calidad media con los que se pueden producir hilados de densidades lineales bajas a medianas, con un desperdicio del 10 al 20 %, y **3) el semipeinado o "upgrading"**, para algodones de calidad media a baja para producir hilados de densidades lineales de medias a altas, con un desperdicio de 5 a 10 %

5.1.0 – CICLO DE TRABAJO DE UNA PEINADORA RECTILÍNEA

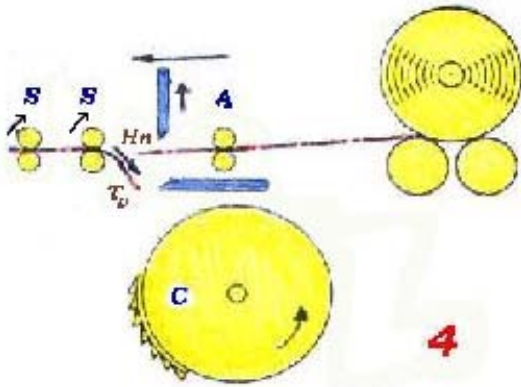
Las peinadoras rectilíneas son las más usadas actualmente y fueron desarrollados por J. Heilman en 1845 en Alsacia (Francia). Pueden ser de alimentación "concurrente" o "no concurrente". Veamos la secuencia de una de alimentación "no concurrente".



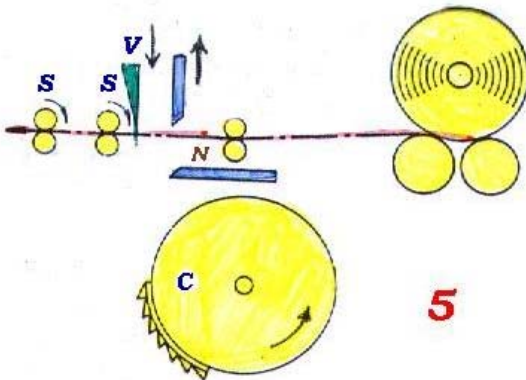
Los rodillos alimentadores **A** alimentan **napa N** hacia delante (la **napa** está formada por un conjunto de **cintas**, agrupadas a lo ancho y en varias capas). Las pinzas **Z_v** y **Z_h** están abiertas. La "cabeza" de la **napa** (**H_n**) recibe las fibras cortas, "neps" e impurezas de la "cola" del **velo** (**T_v**) que va adelante.

La pinza **Z_v** baja y aprieta la **napa** dejando expuesta la cabeza de **napa** (**H_n**). La garnición **K** del cilindro **C** peina la "cabeza" retirando las fibras cortas no pinzadas, "neps" e impurezas: las que traía la "cabeza" y las que le dejó la "cola" del **velo** (**T_v**) que va adelante.

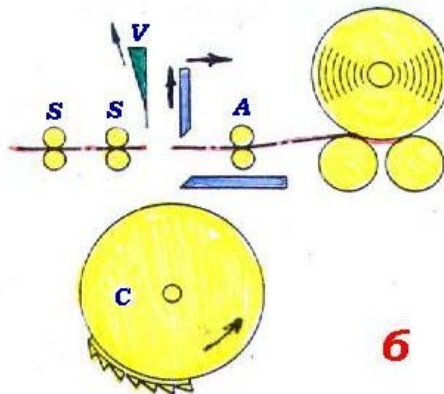
Las pinzas avanzan cerradas y entregan, a los rodillos sacadores **S** la "cabeza" ya peinada de la **napa**. Se abren las pinzas **Z** y los cilindros sacadores al tirar, arrancan ese segmento de **napa** con la "cabeza" ya peinada. Esta "cabeza" se solapa con la "cola" del **velo** (ya peinada), que va saliendo de la peinadora.



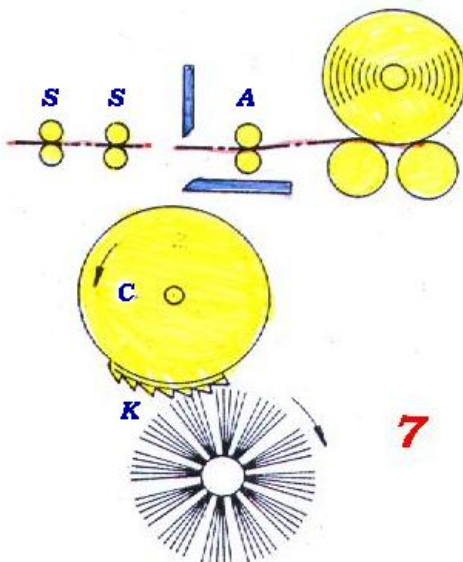
Los rodillos sacadores **S** giran ahora hacia atrás, haciendo retroceder todo el **velo** exponiendo su "cola" no peinada. Esta "cola" perteneció al segmento de **napa** que fue recién arrancado y cuya "cabeza" solapó con el **velo** que salía. Esa "cola" no peinada se empalma y mezcla con la nueva "cabeza" de **napa**, también no peinada, que viene siendo alimentada. Por un instante se produce una continuidad **napa/velo**.



Los rodillos sacadores **S** vuelven a girar sacando **velo** y baja el peine **V**, que sólo tiene movimiento vertical. Al avanzar el **velo**, su "cola" es peinada por el peine vertical **V**. Las fibras cortas, "neps" e impurezas son entonces, retenidas por el peine **V** que las acumula en el último tramo de la "cola" de **velo**.



Como se dijo en **4**, el último tramo de la "cola" del **velo** se mezcló con el primer segmento de "cabeza" de **napa** nueva recién alimentada. Cuando éstos tramos se vuelven a separar, la "cabeza" retiene las fibras cortas, "neps" e impurezas que el peine **V** no permitió avanzar y dejó en el último tramo de la "cola" de **velo**. La "cabeza" de **napa** aún no peinada, con fibras menos paralelizadas, tiene mayor capacidad de retención que la "cola" de **velo**, cuyas fibras largas están más paralelas por haber sido peinadas en toda su extensión.



La nueva "cabeza" de **napa** contiene ahora, además de las que ella misma trae, las fibras cortas, "neps" e impurezas que el peine vertical **V** retiró de la "cola" de **velo**. Las pinzas **Z** retroceden y pinzan el trozo de **napa** nueva recién alimentada. La nueva "cabeza" de **napa** será ahora peinada por la garnición **K** del cilindro **C** y un nuevo ciclo comienza. La garnición **K** es limpiada permanentemente por un cepillo que envía las fibras cortas al "desperdicio bajo peinadora". En las peinadoras modernas este ciclo se repite de 150 a 200 veces por minuto.

5.2.0 –PEINADORA RECTILÍNEA DE ALIMENTACIÓN “NO CONCURRENTE”

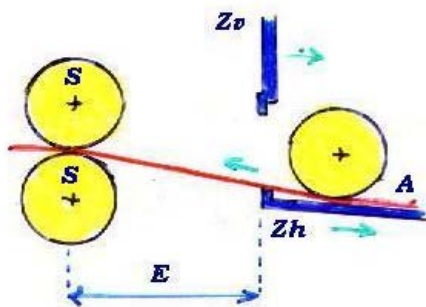


Figura 4.95

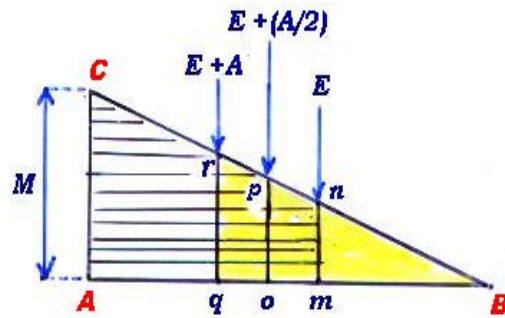


Figura 4.96

A: “alimentación” de napa (es “no concurrente” pues avanza cuando retroceden las pinzas **Z**),
E: “ecartamiento” (es la distancia entre la línea de pinzado de las pinzas **Z** y la línea de pinzado de los rodillos sacadores **S**, cuando ambas líneas están en la posición más cercana),
M: largo máximo de fibra en la napa (A, E y M se miden, p.ej., en mm)

Cuando los rodillos sacadores **S** retiran **velo** y las pinzas **Z** están *abiertas* a la distancia más próxima **E** o “**ecartamiento**”, las fibras más largas que **E** serán mordidas por los rodillos **S** y seguirán viaje con el **velo** (área a la izquierda de **mn** en el diagrama de fibras). Las más cortas que **E** serán retenidas por el peine vertical **V** (no mostrado ahora para simplificar la figura) que las pasa hacia atrás, hacia la cabeza de **napa** que viene entrando o siendo alimentada. La cabeza de **napa** será luego peinada por la guarnición **K** del peine circular **C** y las fibras más cortas que **E**, no pinzadas por las pinzas **Z** (cuando estas retroceden y se cierran), serán enviadas al desperdicio (área a la derecha de **mn** en el diagrama de fibras).

Cuando las pinzas **Z** retornan abiertas hacia *atrás*, antes de que se vuelvan a cerrar, avanzará hacia *adelante* más **napa**: un tramo **A** que corresponde a la alimentación “no concurrente”. Cuando las pinzas **Z** se cierran, la longitud de la “cabeza” de la **napa** aumentó de **E** a **E + A** y la “cabeza” estará expuesta a la acción de la guarnición **K**. Las fibras mayores que **E + A** siguieron viaje en la cola del **velo**, pero las más cortas que **E + A**, que no hayan sido pinzadas, pasarán al desperdicio (áreas a la izquierda y a la derecha de **rq**, respectivamente, en el diagrama de fibras).

La región o área delimitada por **qmn** en el diagrama de fibras, representa las longitudes de aquellas fibras para las que será cuestión de azar si pasan o no al desperdicio. Podemos considerar que el segmento **op**, que representa la longitud de fibra $E + (A / 2)$, será el límite entre lo que va al desperdicio (área a la derecha de **op**) o lo que sigue viaje en el **velo** (área a la izquierda de **op**). El porcentaje de desperdicio (**P%**) será entonces: $P \% = (oBp / ABC) 100$
 Como en triángulos similares la relación de áreas es igual a la relación del cuadrado de los lados: $P \% = [(op)^2 / (AC)^2] 100$, se deduce que:

$$P \% = [(E + A / 2)^2 / M^2] 100$$

5.3.0 – PEINADORA RECTILÍNEA DE ALIMENTACIÓN “CONCURRENTE”

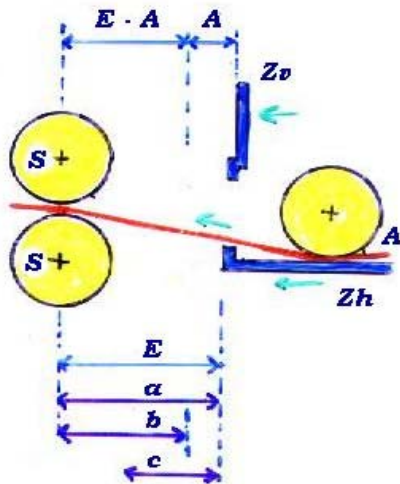


Figura 4.97

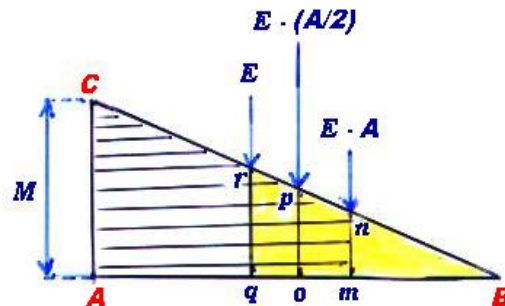


Figura 4.98

A: “alimentación” de napa (es “concurrente” pues avanza junto con las pinzas **Z**),
a : fibras de largo \geq que **E**, **b** : fibras de largo \geq que **E - A**, **c** : fibras de largo menor que **E - A**
A, **a**, **b** y **c** se miden, p.ej., en mm

Las pinzas **Z** se acercan a los rodillos sacadores **S** al mismo tiempo que se produce la alimentación y entonces $E = A + (E - A)$. Los rodillos sacadores **S** sacan el **velo** con fibras de longitud **a**, de igual o mayor largo que **E** (área a la izquierda de **qr**).

Algunas fibras más cortas que **E** quedan en la cabeza de la **napa** y son sacadas por la guarnición **K** del peine circular **C** (área a la derecha de **qr**).

Al avanzar la alimentación **A**, también algunas fibras de largo $b \geq E - A$ pueden ser empujadas por la alimentación hasta justo la línea de pinzado de los rodillos sacadores **S** y ser “mordidas” por estos y pasar al **velo** (área a la izquierda de **mn**). Las fibras **c** más cortas que **E - A** irán siempre al desperdicio (área a la derecha de **mn**).

Con un razonamiento similar al que se hizo para la alimentación “no concurrente”, tendremos que:

$$P \% = [(E - A/2)^2 / M^2] 100$$

Para un mismo **ecartamiento E** y una misma **alimentación A**, en la “alimentación **concurrente**” pasarán al velo fibras más cortas que en la “alimentación **no concurrente**”. Es decir la “**concurrente**” es menos exigente que la “**no concurrente**”.

EJERCICIO:

Una partida de algodón tiene un largo máximo de fibra $M = 36$ mm. En el proceso de hilatura se peinará en un peinadora rectilínea de alimentación “no concurrente” con una alimentación $A = 6$ mm y un ecartamiento $E = 14$ mm. Calcular el porcentaje de desperdicio bajo peinadora. ¿En qué nivel de calidad se ubicaría el hilado que se obtendría finalmente (superpeinado, normal, semipeinado)? ¿Y si la alimentación fuera concurrente?

5.4.0 – CONDICIONES PREVIAS AL PEINADO

Para lograr que la peinadora trabaje bien es importante que las fibras en la **napa** vengan con un adecuado grado de **paralelismo**. Si el grado de paralelismo es **bajo** (por *insuficiente estirado previo, p.ej.*) el % de desperdicio puede aumentar y en este caso no se le podría considerar como medida del nivel de calidad del peinado. Si el grado de paralelismo resulta muy **alto** (por *un exceso de estirado, p.ej.*) bajará la capacidad de retención de impurezas en la cabeza de la **napa** cuando el peine vertical **V** las retire de la cola del **velo**. Un alto grado de paralelismo también produciría una disminución de la resistencia y cohesión de la **napa**. Es por tanto necesario establecer un nivel adecuado de estirado y paralelismo para la **napa**.

El **espesor** de la **napa** es también muy importante: si es muy gruesa aumenta la rotura de fibras, si es muy delgada, disminuye la capacidad de su cabeza de recibir y retener las impurezas que le pasa el peine vertical.

La **posición de los ganchos** de las fibras, **delanteros o traseros**, es también muy importante para evitar que estas se rompan en exceso. Como se recordará la *cinta de carda* sale con **ganchos traseros**. En las operaciones siguientes de estirado se invierte el sentido de avance de las cintas: lo que era cola en un equipo pasa a ser cabeza en el siguiente y así sucesivamente, de manera que la posición de los ganchos de las fibras también irá cambiando. Como generalmente se hacen dos o tres operaciones de estirado, se puede programar en que posición llegarán los ganchos al peinado. Para el **algodón**, que es una fibra “corta” y algo rígida, es mejor que las fibras lleguen con **ganchos delanteros**. La **lana**, que es una fibra “larga” y flexible, puede formar ganchos muy grandes, del 50 % de extensión o más. Si las pinzas **Z** pinzan ese gancho delantero tan largo se forma un lazo que será roto por la guarnición **K** del peine circular **C**, con lo que resultarán dos fibras cortas que irán al desperdicio (ver Figuras 4.99 y 4.100). Por esto, en el caso de la **lana** conviene que las fibras lleguen a la peinadora con **ganchos traseros**.

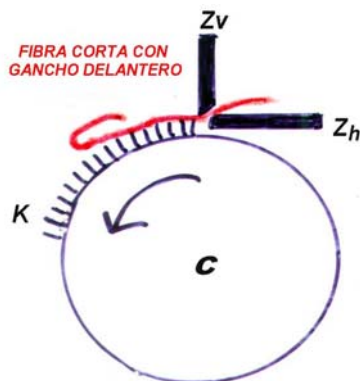


Figura 4.99

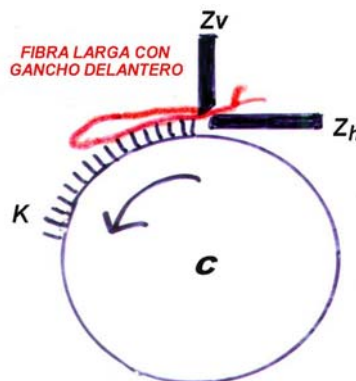


Figura 4.100

Son también factores muy importantes la **humedad** y **temperatura** ambiente. Estas deben ser ajustadas, en la sala de peinado, a las condiciones adecuadas para el tipo de fibra que se procese.

Obviamente el **mantenimiento** de los peines y de todo el equipo, así como una adecuada selección del **ecartamiento**, es fundamental para que la operación de peinado se realice correctamente.

El **velo** a la salida de peinadora sale con una **irregularidad característica** que es debida al empalme de la cabeza de **napa** con la cola del **velo**. Esta irregularidad se debe corregir en las operaciones siguientes del proceso de hilatura.

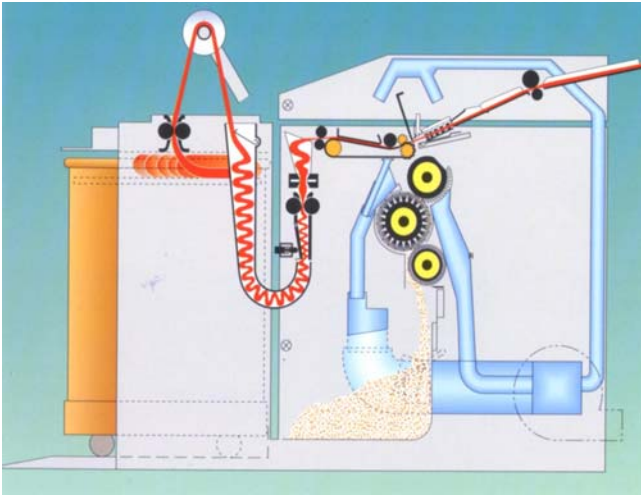


Figura 4.101
PEINADORA RECTILÍNEA

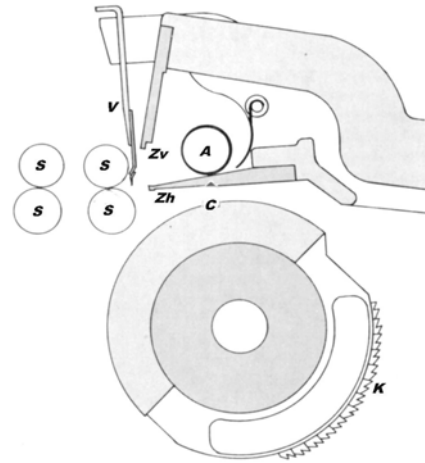


Figura 4.102
DETALLE DEL CABEZAL



Figura 4.103
HILATURA DE ALGODÓN : REUNIDORA DE CINTAS Y FORMADORA DE NAPA

5.5.0 – PEINADORAS CIRCULARES

La mecanización de la operación de peinado fue un gran desafío, debido a su gran complejidad. Edmund Cartwright cerca de 1785 había intentado hacer una máquina para el peinado de lana. Si bien su trabajo no tuvo éxito sirvió para mostrar claramente las dificultades que presentaba su construcción. En 1850 Samuel Lister en Bradford, Inglaterra, patentó una máquina para el peinado de lanas largas, alpaca y mohair. En 1853 James Noble de Leicester desarrolló una máquina horizontal y circular que era adecuada para peinar lana de longitudes cortas a medias. Esta máquina circular, con las mejoras incorporadas sucesivamente, fue la base del “Sistema Inglés” de peinado de lana y se utilizó aproximadamente hasta 1960. Como contraposición, la peinadora rectilínea, desarrollada en Francia, formaba parte del “Sistema Continental” de peinado de lana. El “Sistema Continental” era llamado también “seco” pues en el Sistema Inglés, a la lana se le debía agregar aceites lubricantes o “ensimajes” antes de peinarla.

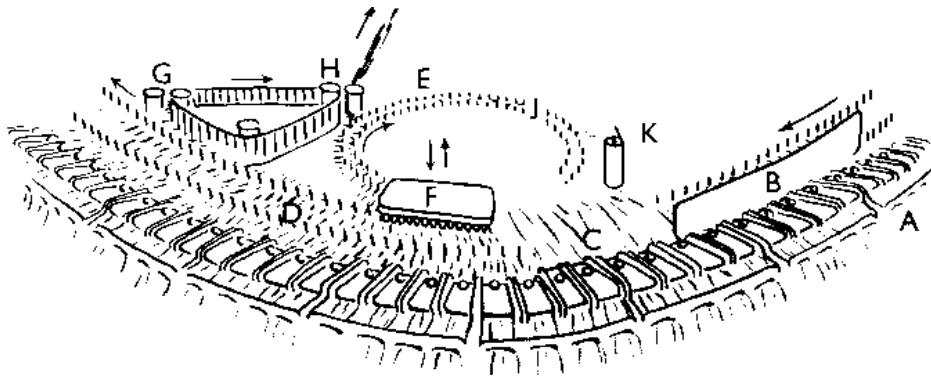


Fig. 4.104

Las complejas peinadoras Noble tenían piezas móviles circulares concéntricas, con 8 a 11 filas de púas verticales que giraban en sentido horario. Otros dos pequeños círculos, ubicados por dentro del círculo externo y casi tocándolo, llevaban de 5 a 8 filas de púas más pequeñas. Las mechas de lana se alimentaban lubricadas o “ensimadas” por fuera del círculo externo y las púas eran calentadas para facilitar el trabajo de peinado. La pieza B hacía avanzar las mechas y las “cabezas” de estas eran bajadas hacia las púas por la pieza F. El movimiento relativo de los círculos grandes y chicos entre sí, con sus púas, separaba, primero, las fibras cortas de la “cabeza” y luego, las de la “cola” de las mechas. Rodillos verticales capturaban las fibras largas con las que se formaba la mecha peinada mientras que las fibras cortas eran succionadas en K y retiradas como “noil”.

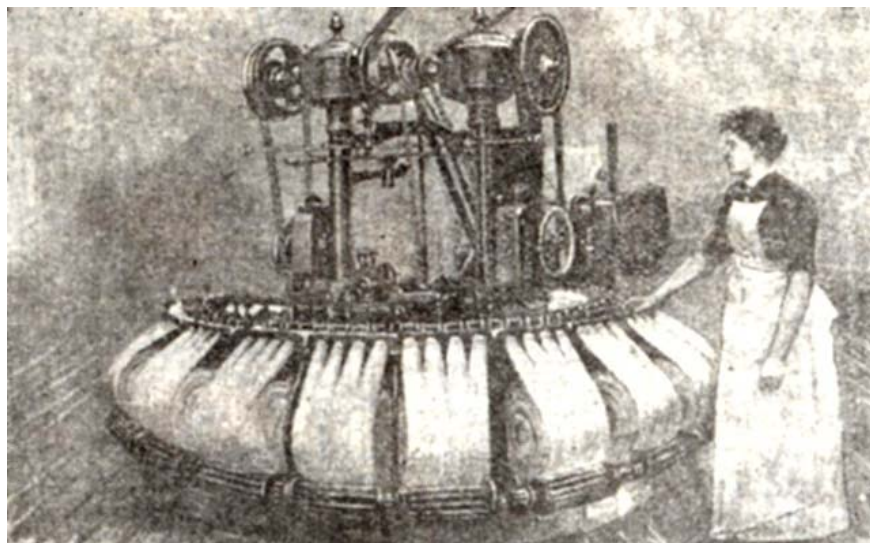


Fig. 4.105 - Peinadora Circular NOBLE , 1904

BIBLIOGRAFÍA
BIBLIOGRAFÍA

- 1- **“Spun Yarn Technology”**, **Eric Oxtoby**, Butterworths, Borough Green, Sevenoaks, Kent TN15 8PH, England, 1987
- 2- **“A Practical Guide to Combing and Drawing”**, **W.Klein**, The Textile Institute, Short-staple Spinning Series, Vol. 3, 10 Blackfriars Street, Manchester M3 5DR, UK, 1987
- 3- **“The History of Wool and Wool Combing”**, **Burnley, James**. Augustus M. Kelley, New York. 1969.

6.0.0- INSERCIÓN DE TORSIÓN

La finalidad de insertar *torsión* a una *cinta* es *augmentar la fricción interfibrilar* con lo que, consecuentemente, se aumenta la *resistencia a la tracción longitudinal*. La inserción de torsión generalmente se inicia después del último manual o pasaje, cuando las fibras de la *cinta* están ya bastante paralelizadas y debe ser *gradual* para poder seguir estirando. Luego de insertar torsiones la *cinta* pasa a llamarse *mecha*. Una vez que se alcanza el título final y se insertan la totalidad de las torsiones previstas, el material deja de ser una *mecha* y pasa a ser un *hilado*. Un vez que el *hilado* alcanza el título previsto ya no se le estira más. Es sometido entonces a operaciones de terminación como purgado, bobinado, vaporizado, chamuscado, reunido y retorcido.

Si la torsión es poca las fibras pueden separarse y el hilado tendrá poca resistencia a la tracción. Si la torsión es excesiva resultará un hilado con mucha vivacidad lo que puede causar inconvenientes como enredos, bucles, nudos y deslizamientos. Durante su uso, en una tela o en una costura, el hilado puede sufrir esfuerzos tensiles y estirarse hasta que finalmente se rompe. Es muy importante entonces conocer la *resistencia a la tracción* y el *porcentaje de extensión a la rotura* de los hilados. Estos valores se pueden obtener ensayándolo en modernos dinamómetros electrónicos. La cantidad e intensidad de torsión (*ver más adelante la definición de estos términos*) influirán en la extensibilidad del hilado así como en su tacto, rigidez, compresibilidad, brillo, facilidad de tintura, etc.

6.1.0- TORSIÓN VERDADERA Y FALSA TORSIÓN

Si a un tramo de cinta, de una dada longitud, se le *sujeta por un extremo* mientras que al otro extremo se le hace describir un círculo, ese tramo de cinta recibirá torsión. Esta torsión será derecha (*S*) o izquierda (*Z*) según se gire en sentido horario o antihorario respectivamente. Si una vez hecho esto se bobina para luego repetir la operación con otro tramo, la mecha bobinada irá quedando con una torsión insertada que podemos llamar *verdadera*. Esto es lo que ocurre, p.ej., en la *hilatura discontinua* con *huso*, con *torno huso* y con *selfactina* (*ver Capítulo 1 - "Origen y Evolución de la Tecnología Textil"*).

Supongamos ahora que la cinta está *sujeta por los dos extremos* y que en un punto intermedio entre esos dos extremos se inserta torsión. Entre el punto intermedio de inserción de torsión y uno de los extremos fijos la torsión será *derecha (S)* e, *izquierda (Z)* entre ese mismo punto intermedio y el otro extremo fijo. Ambos tramos habrán recibido *torsión verdadera* pero de sentido contrario (*ver figura 4.106*).

Supongamos ahora que la cinta avanza por la acción de pares de rodillos y se le inserta torsión en un punto intermedio equidistante de las gargantas de cada par de rodillos. Igual que en el caso anterior, el tramo de cinta está sujeto por ambos extremos (*"mordidos" por los rodillos*) pero avanza moviéndose impulsada por los mismos rodillos. Se insertará entonces, *torsión derecha (S)* entre el punto intermedio *T* de inserción de torsión y un par de rodillos y, *torsión izquierda (Z)* entre ese mismo punto intermedio *T* y el otro par de rodillos (*ver figura 4.107*). A medida que la cinta avanza, al pasar por el punto de inserción de torsión, perderá las torsiones que recibió hasta ese momento pues comienza a recibir *igual cantidad de torsiones* en sentido contrario. De todas formas las fibras quedan con un cierto grado de "enredo" entre ellas y se dice que la mecha recibió "*falsa torsión*".

Si en el caso anterior, el punto de inserción de torsión está cercano al par de rodillos de salida (*ver figura 4.108*), la cantidad de torsiones contrarias recibidas en el segundo tramo más corto, no serán suficientes para anular la cantidad de torsiones recibidas en el primer tramo más largo.

Por tanto la mecha saldrá con un saldo positivo de *torsiones verdaderas*. Esto es lo que, en definitiva, ocurre en las máquinas de hilar *continuas de aletas* (*ruecas, mecheras*) y *continuas de anillo*.

En todos los casos anteriores, que corresponden a lo que podríamos llamar "*hilatura tradicional*", las torsiones se insertan de afuera hacia adentro, es decir desde la *vaina* al *núcleo* del hilado. En algunas de las modernas *hilaturas no tradicionales* como las de "cabo abierto" u "open end", veremos que por el contrario, las torsiones se insertan de adentro hacia fuera o sea desde el *núcleo* a la *vaina* del hilado (*ver más adelante*).

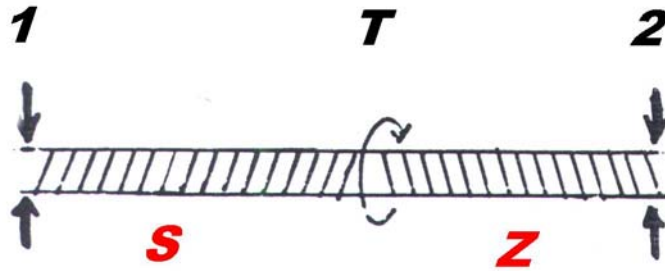


Figura 4.106

Si ambos extremos de la mecha están fijos, los dos tramos, a la izquierda y a la derecha del punto de inserción de torsión T, reciben *torsión verdadera* pero de sentido contrario

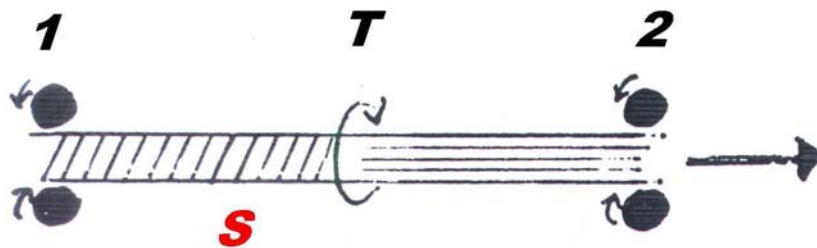


Figura 4.107

Si el punto de inserción de torsión T está equidistante de ambos pares de rodillos, la mecha sale con "*falsa torsión*", pues a la derecha de T recibe la misma cantidad de torsiones que a la izquierda, pero de sentido contrario.

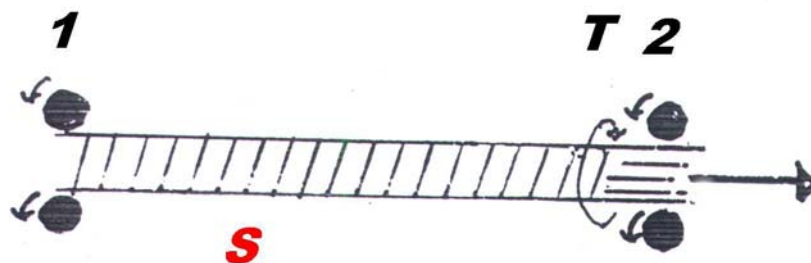


Figura 4.108

Si el punto de inserción de torsión T está muy cerca de los rodillos de salida, la mecha no recibe suficientes torsiones contrarias y por tanto sale con un balance positivo de *torsión verdadera* S

6.2.0- MÁQUINAS CONTINUAS DE HILAR DE ALETA: Ruecas y Mecheras



Figura 4.109
RUECA

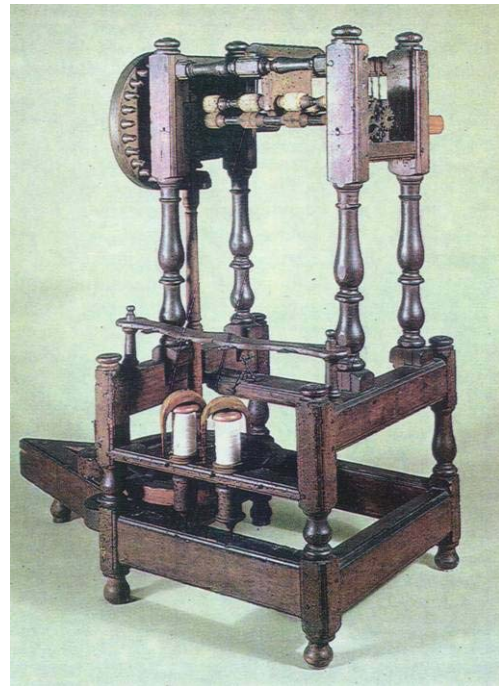


Figura 4.110
"WATER FRAME" de Richard Arkwright

La rueca fue desarrollada hace unos 600 años como la primera máquina *"continua"* de hilar, es decir una máquina que permitía hacer en forma continua tres de las operaciones básicas de la hilatura: *estirar*, *insertar torsión* y *bobinar*. Esto fue posible gracias a incorporar al viejo *"torno-huso"* de hilar, un sencillo pero revolucionario elemento: la *"aleta"* (*"flyer"* en inglés) (ver Capítulo 1 - *"Origen y Evolución de la Tecnología Textil"*). Las *ruecas* aún hoy son utilizadas para producir hilados artesanales, de títulos gruesos.

La *"mechera"* es una máquina moderna que tiene por antecedentes a la *rueca* y al *"water frame"* de *Richard Arkwright*, el que a su vez es el resultado de la unión de la *rueca* con los *rodillos estiradores* desarrollados por *Paul y Wyatt* a mediados del siglo XVIII. El *"water frame"* era accionado por medio de engranajes y poleas, por la energía de un molino de agua, de ahí su nombre. (ver Capítulo 1, *"Origen y Evolución de la Tecnología Textil"*).

Las *"mecheras"* modernas constan de varios husos y aletas, ubicados en una bancada y accionados por motor eléctrico y transmisiones. Las aletas pueden girar a aprox. 1500 rpm. Las mecheras se utilizan principalmente en la hilatura de *algodón*, que es una fibra corta y sin rizo, donde las mechas con algo de torsión deben luego seguir siendo estiradas (*de ahí su nombre de "mecheras"*). Se utilizan rara vez en la hilatura de *lana*, como por ejemplo en la hilatura de mezclas de lana y seda cortada (*"schappe"*). Generalmente en la hilatura de *lana* por el *"sistema peinado"* en lugar de *mecheras* se utiliza el *"finisser"* que, antes de la *"continua de anillo"*, estira y aplica *"falsa torsión"* por medio de *"rotofrotadores"*.

Las continuas de hilar de aletas pueden ser de dos tipos: de aleta avanzada o *"tirando"* o de bobina avanzada o *"tirando"*. En ambos casos la mecha sale con un balance positivo de *torsiones verdaderas*.

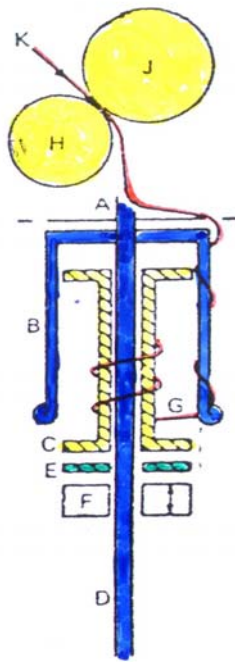
ALETA AVANZADA O "TIRANDO"

Figura 4.111

A: parte superior del huso (hueca), B: aleta, C: carrete donde se enrolla la bobina, D: huso (movido desde abajo), E: arandela de fieltro, F: corte del soporte que sube y baja (con el carrete) para que la bobina se enrolle uniformemente, G: mecha tirando de la bobina, H y J: rodillos estiradores

n_A : velocidad de giro *angular* de la aleta
 n_H : velocidad de giro *angular* del huso
 v_E : velocidad *lineal* de entrega de mecha a la salida de los rodillos estiradores
 v_A : velocidad *lineal* de la punta de la aleta
 v_B : velocidad *lineal* de la superficie de la bobina.
 ϕ_A : diámetro de la aleta
 ϕ_B : diámetro de la bobina

La *aleta avanzada o "tirando"* se usa en mecheras que procesan mechas de *fibras largas* como *lana, lino, yute*, etc., pues la mecha debe tener resistencia para tirar del carrete con la bobina. Esta modalidad de *aleta avanzada o "tirando"* es también la tradicionalmente utilizada en las *ruecas*, que trabajan con mechas gruesas para producir hilados artesanales. En esta modalidad la *aleta* es solidaria con el *huso*. El *carrete* con la *bobina* van insertos en el *huso* y pueden girar libremente, subir y bajar. Sin embargo el *carrete* está apoyado en una arandela de fieltro y por tanto hay una cierta resistencia friccional a que gire. Las torsiones insertadas serán:

$$T = n_a / v_e$$

Por tanto, para una dada velocidad de la aleta n_A , cuanto menor la velocidad lineal de entrega v_E mayor será la cantidad de torsiones T insertadas. O para una dada velocidad lineal de entrega v_E cuanto mayor sea la velocidad angular de la *aleta* n_A mayor también serán la cantidad de torsiones insertadas. Cuanto mayor velocidad lineal de entrega mayor es la producción y cuanto mayor cantidad de torsiones insertadas mayor es el costo de la producción.

El enrollado en la bobina se produce cuando la *diferencias* entre las velocidades lineales (*o circunferenciales*) de la aleta v_A y de la bobina v_B es igual a la velocidad de entrega de la mecha, es decir:

$$v_E = v_A - v_B$$

Como $v_A = \pi \phi_A n_A$ y $v_B = \pi \phi_B n_B$, y como en el punto de enrollado podemos establecer la aproximación de que $\phi_A = \phi_B = \phi_E$, tendremos

$$v_E = v_A - v_B = \pi \phi_E (n_A - n_B), \text{ de donde } n_B = n_A - (v_E / \pi \phi_E)$$

Como ϕ_E va aumentando a medida que se enrolla mecha, $(v_E / \pi \phi_E)$ va disminuyendo. Como n_A es constante (*e igual a n_H por ser solidarios aleta y huso*), n_B , la *velocidad lineal del enrollado*, *umentará* desde su valor inicial pero sin alcanzar nunca el valor de n_A

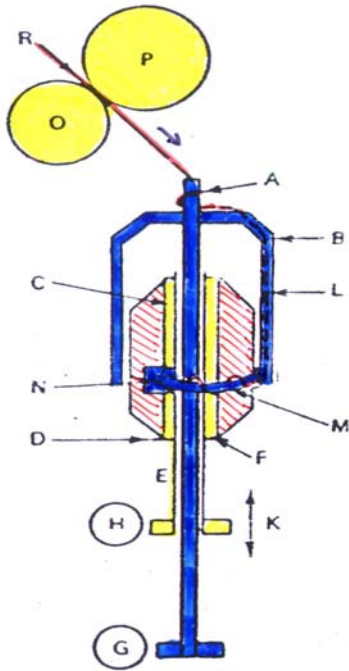
BOBINA AVANZADA O "TIRANDO"

Figura 4.112

A: parte superior del huso (hueca), B: brazo de aleta (hueco), C: carrete donde se enrolla la bobina, D: apoyo del carrete, E: tubo donde se inserta el carrete (el carrete se inserta vacío y se saca cuando está lleno), F: asegurador del carrete en el tubo, G: transmisión del movimiento de velocidad constante del huso, H: transmisión del movimiento de velocidad variable del carrete con la bobina, K: movimiento de subida y bajada para obtener un bobinado parejo, L: mecha dentro de un brazo de la aleta, M y N: "dedo" que ejerce presión sobre el hilo que se bobina, O y P: rodillos de estirado, R: mecha ingresando a los rodillos de estirado.

Es utilizado para mechas de fibras cortas como el algodón en que es necesario no ejercer altas tensiones sobre la mecha. El **carrete** con la **bobina** es movido independientemente a velocidad variable por un sistema de reductor de conos superpuestos y enfrentados punta a base (*"box of tricks"*). De tal manera, a medida que ϕ_E aumenta al enrollarse mecha, se mantiene una tensión mínima y constante sobre la mecha. La mecha pasa por el brazo hueco de la **aleta** y se envuelve luego en un "dedo" horizontal que se apoya en el punto de enrollado impidiendo que haya deslizamiento de fibras obteniéndose así un enrollado más firme. Siguiendo un razonamiento similar al de **aleta avanzada**, tenemos en este caso:

$$V_E = V_B - V_A = \pi \phi_E (n_B - n_A), \text{ de donde } n_B = n_A + (V_E / \pi \phi_E)$$

Por tanto, a medida que ϕ_E aumenta al enrollarse mecha, $(V_E / \pi \phi_E)$ se hace más chico y n_B , la velocidad lineal del enrollado, **disminuye** desde su valor inicial sin alcanzar nunca el valor constante de n_A . Esta modalidad tiene las ventajas siguientes: **1)** al llenarse la bobina y bajar su velocidad de giro n_A , el consumo de energía disminuye, **2)** se pueden obtener bobinas más grandes, **3)** en el arranque el tirón sobre la mecha es más suave y **4)** si se corta la mecha durante la marcha, esta se aprieta contra el enrollado debido a la resistencia del aire (*en el caso de aleta tirando tiende a desenrollarse*).

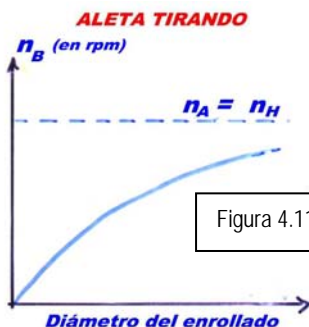


Figura 4.113

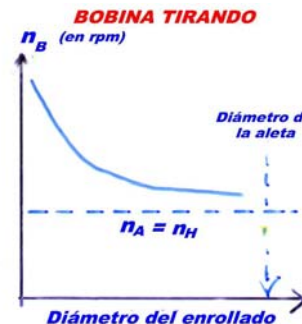


Figura 4.114

6.3.0- MÁQUINA CONTINUA DE HILAR DE ANILLO

Podríamos decir que este equipo en lugar de insertar torsión por el giro de una "aleta", como ocurre en el caso de las *mecheras*, lo hace por el giro de un pequeño "jinete" o "viajero" (de forma aproximada a una "U" invertida) que va montado en un "anillo". La *mecha*, requerida por el enrollado, pasa a través del "viajero" arrastrándolo y haciéndolo "viajar" en el anillo. El giro del "viajero" en el anillo **inserta las torsiones finales** a la *mecha* y la transforma en un *hilado*. El "viajero" sería similar a la "punta" del brazo hueco de la *aleta de una mechera en la modalidad "bobina tirando" (o en este caso de huso o "canilla" tirando)*. Como **la velocidad del huso es constante**, la velocidad de giro del "viajero" (n_t) aumentará a medida que se enrolla hilo en la canilla, es decir a medida que aumenta ϕ_E , sin llegar nunca a igualarse a la velocidad del huso (como ejercicio desarrollar la fórmula para el cálculo de n_t). Las canillas llenas se cambian por vacías antes de que ϕ_E se haga igual al diámetro del anillo. La mecha recibe su *estirado final* en un "tren de estiraje" vertical o ligeramente inclinado para permitir que la torsión se inserte profundamente hasta la garganta del par de rodillos de salida. Según el sentido de giro del "viajero" en el "anillo", las torsiones insertadas en el tramo de mecha más largo, que va desde el "viajero" hasta la garganta del par de rodillos delanteros del "campo de estirado", podrán ser **S ó Z**. Las torsiones de sentido contrario que se insertan en el tramo más corto, que va desde el "viajero" hasta el punto de enrollado en la "canilla", no son suficientes para anular la totalidad de torsiones del tramo anterior. Por tanto el hilado saldrá con un balance positivo de **torsiones verdaderas**. Un mecanismo independiente hace subir y bajar regularmente al "anillo" (en el que gira el "viajero") para que el enrollado del hilo en la "canilla" sea uniforme. El huso gira a velocidades angulares de aproximadamente 3.000 rpm para hilados gruesos y de aproximadamente 8.000 - 15.000 para hilados finos. La cantidad de torsiones insertadas por metro de hilado (T/m) serán iguales a las **rpm del viajero girando en el anillo** divididas por **la velocidad lineal de entrega de hilado, en metros por minuto**. En general, las velocidades de entrega son del orden de los 10 a 25 m/min.

La masa y el tamaño del "viajero" se selecciona según el tipo de fibra e hilado. En general los hilados gruesos requieren "viajeros" más pesados. La tensión del enrollado depende en gran medida del tipo de "viajero". Comparativamente a otras partes mecánicas, el "viajero" y el "anillo" están sometidos a condiciones muy severas de fricción y desgaste y se debe cuidar que, en el punto de contacto de ambos, no se alcancen temperaturas que puedan perjudicar al hilado. Los "anillos" pueden ser de acero sinterizado y tener lubricación interna. Los "viajeros" son de aleaciones especiales, poliamida, teflon, etc. Las fuerzas en el plano del anillo, la tensión del enrollado, los mecanismos para minimizar la formación de "balón", etc. son interesantes aspectos que han sido muy estudiados y que pueden encontrarse tratados en la bibliografía recomendada al final del capítulo, en revistas especializadas y en folletos comerciales.

Las continuas de anillo fueron desarrolladas a comienzos del siglo XIX y durante el período 1945-1960 alcanzaron un grado de perfeccionamiento muy alto. Sin embargo los nuevos equipos, que aparecen en las ferias de maquinaria textil que se realizan periódicamente, han ido incluyendo mejoras como robots para la sustitución de las "canillas" llenas por vacías, automatismos para indicar el corte accidental de las mechas, mecanismos para disminuir la formación del "balón", mejoras en la productividad aumentando la cantidad de husos por máquinas, la velocidad del huso, la utilización de materiales más livianos para disminuir el consumo de energía, etc. **La inserción de la torsión final en el hilado es la operación más cara de todo el proceso de hilatura: requiere más espacio, energía y mano de obra que todas las otras operaciones juntas**. Una estimación de costos aproximada para la hilatura del algodón sería como sigue: apertura y limpieza 11%, cardas 13 %, manuales 4%, mecheras 12%, continuas de anillo 60 %

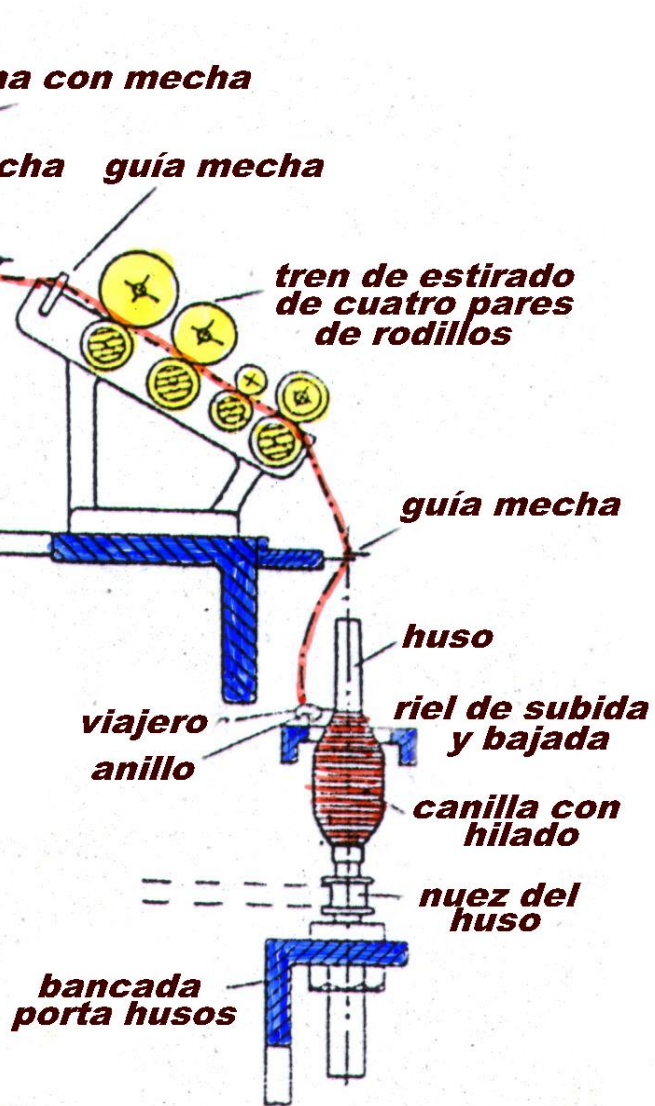
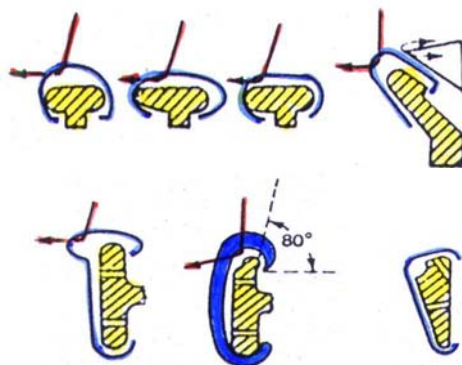
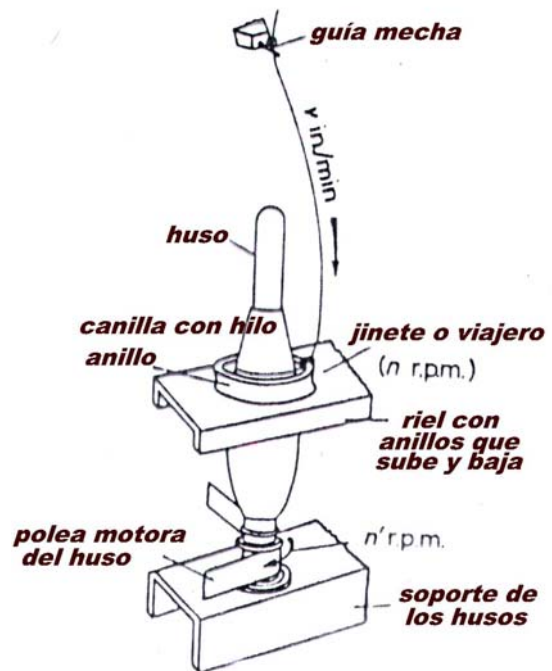


Figura 4.115



Distintos tipos de "viajeros"

Figuras 4.116 y 4.117



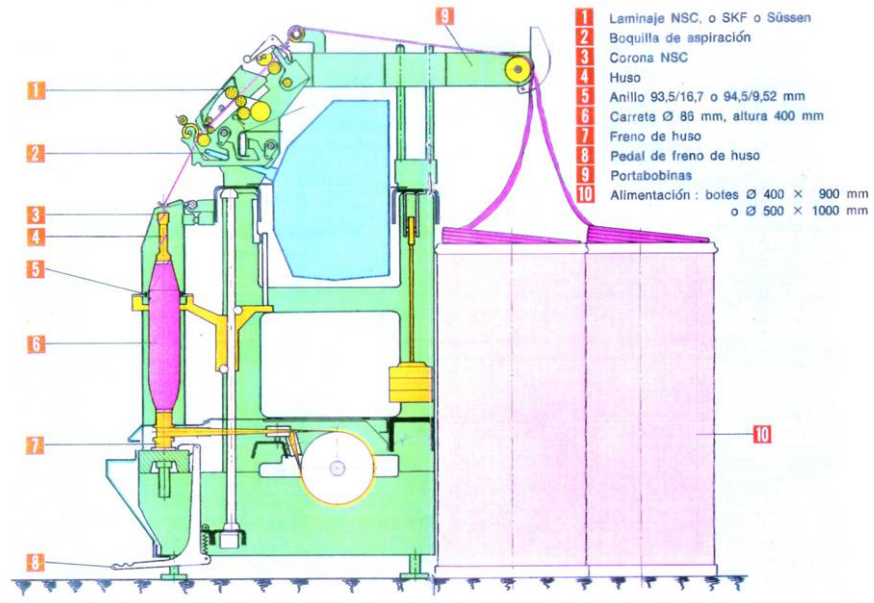


Figura 4.118
CORTE DE UNA POSICIÓN DE CONTINUA DE ANILLO
 (de 400 a 1200 o más husos por máquina)

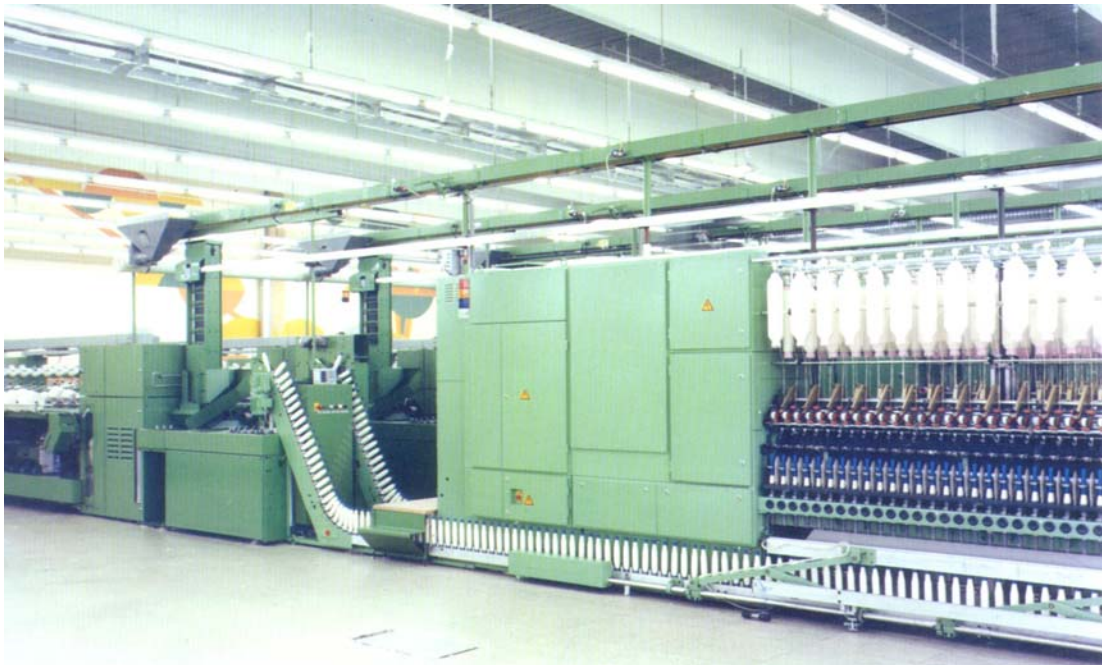


Figura 4.119
CAMBIO AUTOMÁTICO DE CANILLAS LLENAS POR VACÍAS
EN UNA MODERNA CONTINUA DE ANILLO

6.4.0- MÁQUINA DISCONTINUA DE HILAR: La Selfactina

La *selfactina* (de "self acting machine") fue desarrollada por **Samuel Crompton** en 1774 y fue gradualmente perfeccionada en años posteriores. Si bien es un equipo de muy baja producción, aún se utiliza para obtener hilados de lana cardada de muy buena regularidad.

La selfactina básicamente consta de un "carro" que transporta husos. Este "carro" puede alejarse y acercarse a los rodillos de alimentación que suministran mechas. Cuando el "carro" se aleja estirando las mechas, los husos giran y les insertan torsión. Al final del recorrido una barra *retén*, que corre a lo largo de los husos, desengancha y cambia de posición las mechas permitiendo que, durante el retorno del "carro", y mientras los husos siguen girando, se bobinen los tramos de hilado recién formados. *La selfactina* es una máquina de hilar **discontinua** pues **reproduce los movimientos de la hilatura con huso manual** e inserta **torsión verdadera**. Como incluye el estirado con rodillos, es una máquina "híbrida", pues combina dos tipos de mecanismos. Por esa razón en Inglaterra del siglo XIX se le llamó "mule" o "mule spinning machine" (ver Capítulo 1 - "Origen y Evolución de la Tecnología Textil").

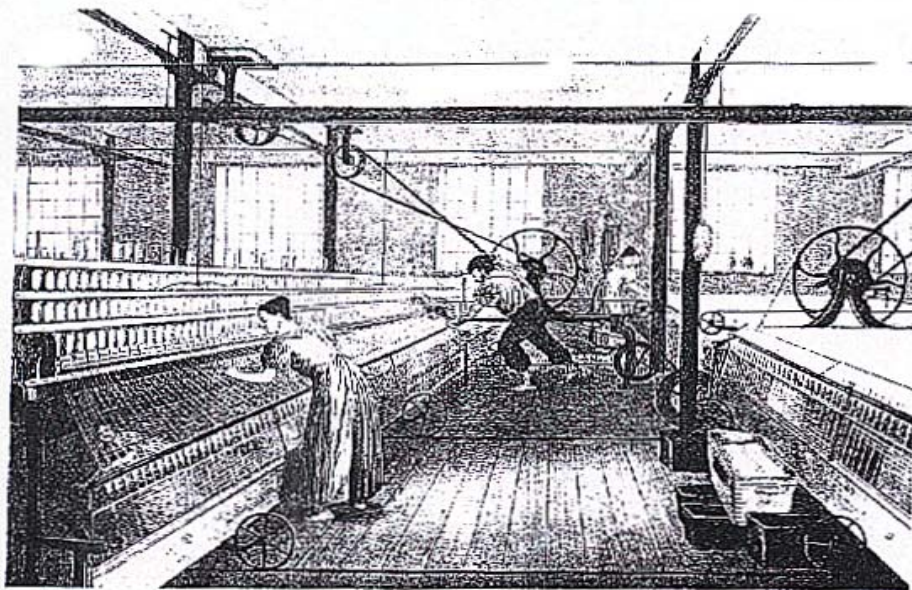
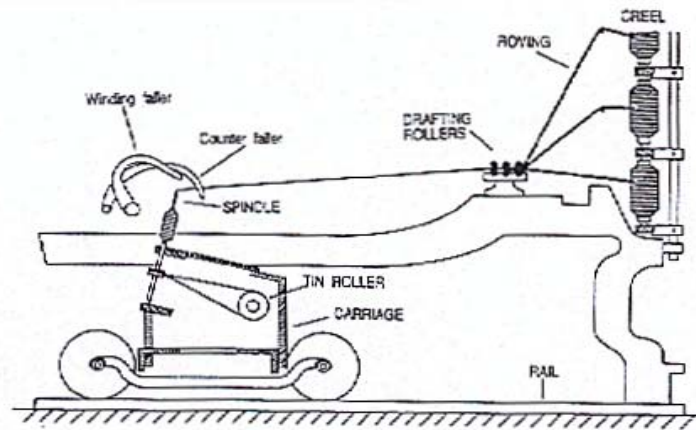


Figura 4.120

SELFACTINAS EN HILANDERÍA DEL SIGLO XIX

SELFACTINA: Ciclo de trabajo

Adaptado de Eric Oxtoby, "Spun Yarn Technology"

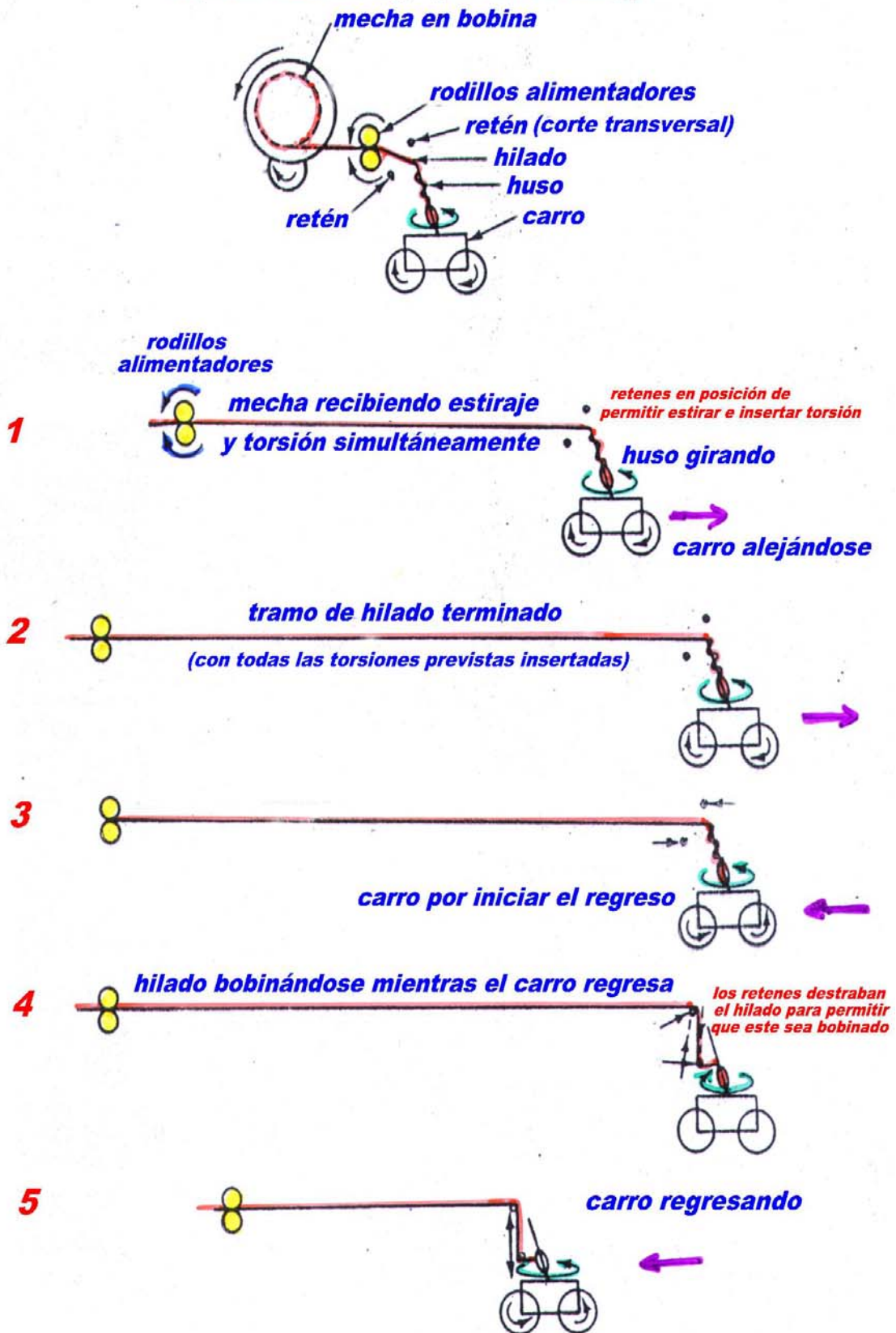


Figura 4.121 (adaptada de "Spun Yarn Technology", Eric Oxtoby, Ed. Butterworks)

El ciclo de trabajo de una *selfactina* estaría compuesto entonces, de las siguientes etapas:

- 1- Al inicio del ciclo el carro está en la posición más cercana a los rodillos suministradores de mecha.
- 2- El carro se aleja y los rodillos alimentadores entregan mecha. Los husos giran lentamente insertando poca torsión (*generalmente torsión S*).
- 3- Los rodillos alimentadores detienen su giro pero el "carro" continua retrocediendo a velocidad decreciente. Por tanto la mecha es estirada a la vez que se le inserta una cantidad creciente de torsiones por unidad de longitud (*debido a que la velocidad del "carro" va disminuyendo*). En una mecha irregular, los tramos gruesos recibirán menos torsión que los tramos finos y por tanto podrán ser estirados un poco más que estos. Entonces, al insertar torsión al mismo tiempo que se estira, se mejora la regularidad del hilado resultante.
- 4- Al final del recorrido del "carro", los husos siguen girando insertando algo más de torsión.
- 5- Al detenerse el "carro", los husos giran un poco en sentido contrario para aflojar el tramo de hilo recién formado y permitir que la barra retén (o "mola") lo desenganche y lo pongan en posición de bobinado.
- 6- Al regresar el "carro", el giro de los husos enrolla el tramo de hilado recién formado. El retén o "mola" inferior guía el hilo para que se produzca un bobinado uniforme. La velocidad lineal de enrollado debe ser igual a la velocidad de retorno del carro. Al llegar el "carro" a la posición más cercana a los rodillos de alimentación el ciclo vuelve a comenzar. El ciclo se repite 3 a 4 veces por minuto. El estiraje puede ser de 1,2 a 2,0 aproximadamente.

6.5.0- SENTIDO DE LA TORSIÓN APLICADA

La torsión aplicada puede ser **S**, derecha o en sentido horario, ó **Z**, izquierda o en sentido antihorario. La torsión **S** es más común para el *retorcido* de hilos de varios cabos y la **Z** para hilos monocabos. Esto es debido a que en muchas máquinas de coser de doble pespunte, durante un cosido normal recto, la aguja y el garfio tienden a dar una torsión **Z** al hilado. Si el hilo tiene ya una adecuada torsión **Z** resistirá la torsión adicional. En cambio si el hilo tiene torsión **S**, puede destorcerse y romperse.

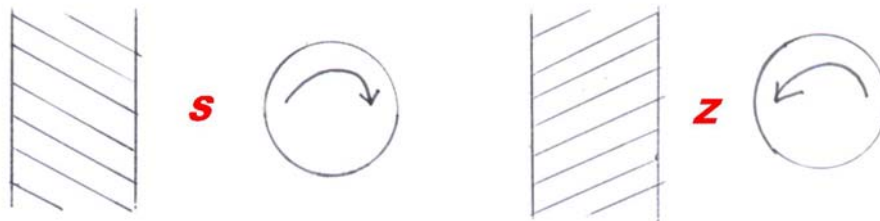


Figura 4.122

El sentido por donde se desenrolla la "canilla" o "husada" y la inclinación del "viajero" en el "anillo" de una continua de anillo, son indicadores del sentido de la torsión insertada o que se está insertando, respectivamente (ver Figura 4.121).

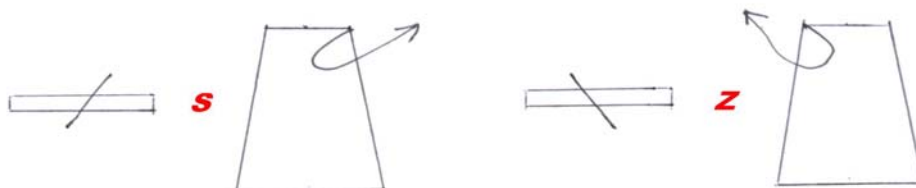


Figura 4.123

6.6.0- CANTIDAD E INTENSIDAD DE TORSIÓN

Un hilado torsionado está en una situación de equilibrio entre las fuerzas de fricción y las fuerzas de recuperación elástica de las fibras que componen el hilado (Figura 4.124). Las primeras tienden a mantener la torsión del hilado y dependen del coeficiente de fricción y del área de contacto interfibrilar. Las segundas tienden a destorcer el hilado y dependen del módulo de Young torsional y de la longitud y sección de las fibras.

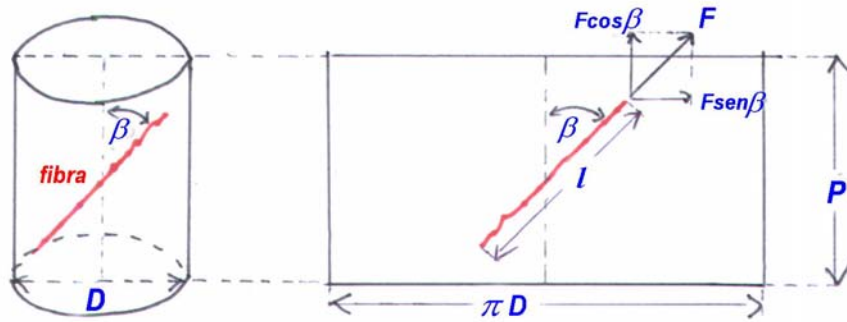


Figura 4.124

l = largo de la fibra

T = torsiones por unidad de longitud o "**CANTIDAD DE TORSIÓN**" o simplemente "**TORSIÓN**"

P = longitud por unidad de torsión o "paso de torsión" ($P = 1/T$)

D = diámetro del hilado

β = ángulo de torsión

$\text{tg}\beta$ = **INTENSIDAD DE TORSIÓN**

F = fuerza de torsión sobre la fibra en el equilibrio. Varía a lo largo de la fibra y en sus extremos vale cero.

$F \cos\beta$ = **componente** de F que resiste las tracciones aplicadas longitudinalmente al hilado. Si la torsión **aumenta**, β **aumenta**, $\cos\beta$ **disminuye** y la resistencia a la tracción del hilado **disminuye**.

$F \sin\beta$ = **componente** de F tangente a la sección del hilado. En conjunto estas fuerzas generan **resultantes radiales** R dirigidas hacia el centro del hilado, compactándolo y favoreciendo la fricción interfibrilar. Si la torsión **aumenta**, $\sin\beta$ **aumenta** y la resistencia a la tracción del hilado también **aumenta**.

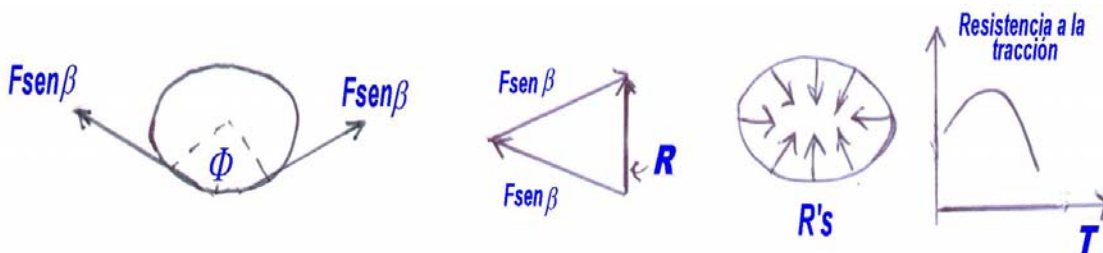


Figura 4.125

Por tanto la **resistencia a la tracción del hilado** en función de la **torsión**, **pasa por un máximo**. El ángulo ϕ depende del largo l de las fibras. Cuanto mayor l , mayor ϕ y mayor las R . Cuando $\phi = 360^\circ$ tendremos un efecto de "lazo". En iguales condiciones, los hilados de fibras largas necesitan menos torsión que los de fibras más cortas.

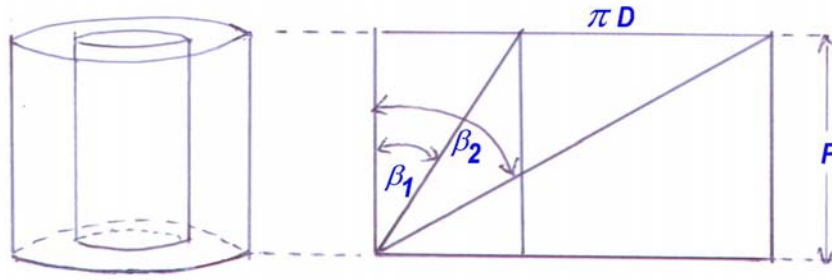


Figura 4.126

La *intensidad de torsión* se define como la $tg\beta = \pi D / P = \pi D T$. Entonces, para hilos distintos pero de igual "*paso de torsión*" P o igual "*cantidad de torsión*" T , la "*intensidad de torsión*" $tg\beta$ es directamente proporcional a los *diámetros* de sus secciones:

$$tg\beta_1 = \pi D_1 T ; tg\beta_2 = \pi D_2 T \therefore tg\beta_1 / tg\beta_2 = D_1 / D_2$$

Será necesario entonces emplear más *intensidad de torsión*, o *gastar más energía*, para insertar la misma "*cantidad de torsión*" T en un hilo grueso que en uno fino. Para hilos distintos pero de igual "*intensidad de torsión*", $tg\beta$, la "*cantidad de torsión*", T , es inversamente proporcional a los *diámetros* de sus secciones:

$$tg\beta = \pi D_1 T_1 ; tg\beta = \pi D_2 T_2 \therefore D_1 / D_2 = T_2 / T_1$$

A pesar de que los dos hilos tienen la misma "*intensidad de torsión*", $tg\beta$, el hilo grueso tendrá menos "*cantidad de torsión*", T . En una mecha irregular, p. ej. los tramos gruesos tendrán menor "*cantidad de torsión*", T , que los tramos delgados. Como ya vimos, los hilados producidos en *selfactina* son más regulares porque las partes gruesas, que tienen menos torsión, se estiran más que las finas. La inserción de torsión con estirado simultáneo da como resultado una autoregulación.

6.7.0- ÍNDICE DE TORSIÓN

Es conveniente establecer una *relación entre el título* (ver Sección 11.2.0) y las *torsiones* de un hilado, de manera de disponer de un *índice de comparación* o *criterio de similitud* entre hilados distintos. El "*índice de torsión*" es un índice empírico que cumple con esa función. Para los hilados de algodón se define un "*índice de torsión*": $\alpha_e = T / \sqrt{N_e}$ (T como torsiones por pulgada y N_e título en número inglés). Para los hilados de lana se acostumbra usar habitualmente: $\alpha_m = T / \sqrt{N_m}$ (T como torsiones por metro y N_m título en número métrico). A α_m se le designa a veces con la letra K . Un *índice de torsión métrico* sería: $\alpha_t = T / \sqrt{tex}$ (T como torsiones por metro). Según su uso o aplicación un hilado debe tener un "*índice de torsión*" apropiado (dependiendo de la longitud de fibra que compone el hilado) (Ver Tabla 4.9).

TABLA 4.9 * INDICES DE TORSIÓN

FIBRA	TELAS PLANAS, urdimbre			TELAS PLANAS, trama			TEJIDO DE PUNTO		
	α_e	α_m	α_t	α_e	α_m	α_t	α_e	α_m	α_t
Corta	4,0-5,0	120-150	3800-4800	3,2-3,8	100-115	3170-3650	-	-	-
Media	3,8-4,5	115-135	3650-4300	3,0-3,5	90-105	2860-3350	2,5-3,0	75-90	2400-2860
Larga	3,4-3,8	100-115	3170-3650	2,5-3,0	75-90	2400-2860	2,2-2,6	65-80	2050-2550

BIBLIOGRAFÍA: 1) "Spun Yarn Technology", Eric Oxtoby, Butterworths, Borough Green, Sevenoaks, Kent, TN15 8PH, England, 1987. 2) "A Practical Guide to Ring Spinning", W. Klein, The Textile Institute, manual of Textile Technology, 1987

7.0.0- BOBINADO, PURGADO, etc

Durante mucho tiempo el bobinado fue considerada una operación sin importancia. Sin embargo, dependiendo del tipo del enrollado es posible aumentar la eficiencia de las operaciones siguientes. También, al mismo tiempo que se bobina, es posible retirar o “purgar” defectos del hilado así como incorporar productos para lubricar y disminuir su *pilosidad* (como con el “parafinado”, p.ej.). Los dos tipos de bobinas más comúnmente usados son la bobina **cilíndrica** y la **cónica** (Figura 4.127).

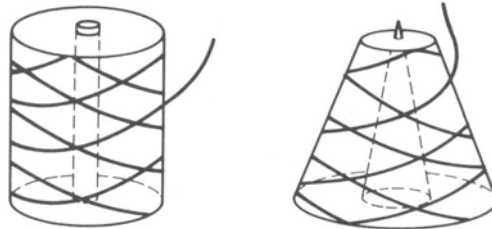


Figura 4.127

El desenrollado lateral de las **bobinas cilíndricas**, combinado con rotación de la bobina, requiere velocidades relativamente bajas y genera tensiones a medida que el radio de la bobina disminuye, pero no introduce cambios en la cantidad de torsiones del hilado. El desenrollado por el extremo superior con bobina quieta, sí introduce cambios en la cantidad de torsiones del hilo (igual a $1/\pi D$ donde D es el diámetro instantáneo de la bobina mientras se desenrolla). Que las torsiones aumenten o disminuyan dependerá de si son Z o S y del sentido de desenrollado. Entonces cuando se suministra hilado a una máquina es importante que todas las bobinas se coloquen de manera que, vistas de arriba, el hilado desenrolle siempre hacia el mismo lado. Las bobinas cilíndricas permiten un aprovechamiento mejor del espacio en los equipos de tintura y es muy importante la densidad del empaquetado para obtener una tintura igualada. Las **bobinas cónicas** permiten una mayor velocidad de desenrollado por la punta con la bobina quieta, con un mejor control de tensiones. Son también más estables que las cilíndricas, con menos riesgo de que el cono se desorganice. En ambos tipos de bobina, cuanto mayor el ángulo de enrollado mejor es el empaquetado de la bobina.

Los defectos presentes en el hilado, como partes más finas o más gruesas, que pueden ser de diferente longitud, generan graves inconvenientes en tejeduría con frecuentes paradas en los telares y telas de mal aspecto. Es necesario entonces “**purgar**” estos defectos y el bobinado ofrece la oportunidad para hacerlo. Las modernas “bobinadoras purgadoras” realizan ese trabajo a alta velocidad detectando electrónicamente los defectos para luego cortarlos y volver a empalmar los extremos del hilo. Debe establecerse cuidadosamente un nivel de defectos aceptable pues si este se fija muy bajo, la máquina trabajará en exceso, con una disminución de la productividad y un aumento del desperdicio. También se debe tener en cuenta que el empalme que sustituye al defecto, es también una irregularidad que se introduce al hilo. El control de humedad ambiental es fundamental cuando se utilizan purgadores capacitivos. El “**chamuscado**” es también una operación que puede realizarse mientras el hilado es bobinado. Su finalidad es disminuir la pilosidad pasando el hilo por una pequeña llama mientras este es bobinado a alta velocidad. Para la operación de “**vaporizado**”, que tiene la finalidad de eliminar las tensiones del hilado disminuyendo su tendencia a formar “caracolillo”, es muy importante una correcta densidad del empaquetado. Si la bobina no tiene una densidad adecuada y uniforme, el vaporizado será irregular y en el **teñido** aparecerán diferencias de tono. Durante el teñido se pueden agregar **lubrificantes** para facilitar las operaciones de tisaje y cosido. Las bobinas luego de teñidas deben secarse cuidadosamente, preferentemente en equipos de radio frecuencia.

BIBLIOGRAFÍA: “Spun Yarn Technology”, Eric Oxtoby



Figura 4.128
BOBINAS de HILADOS

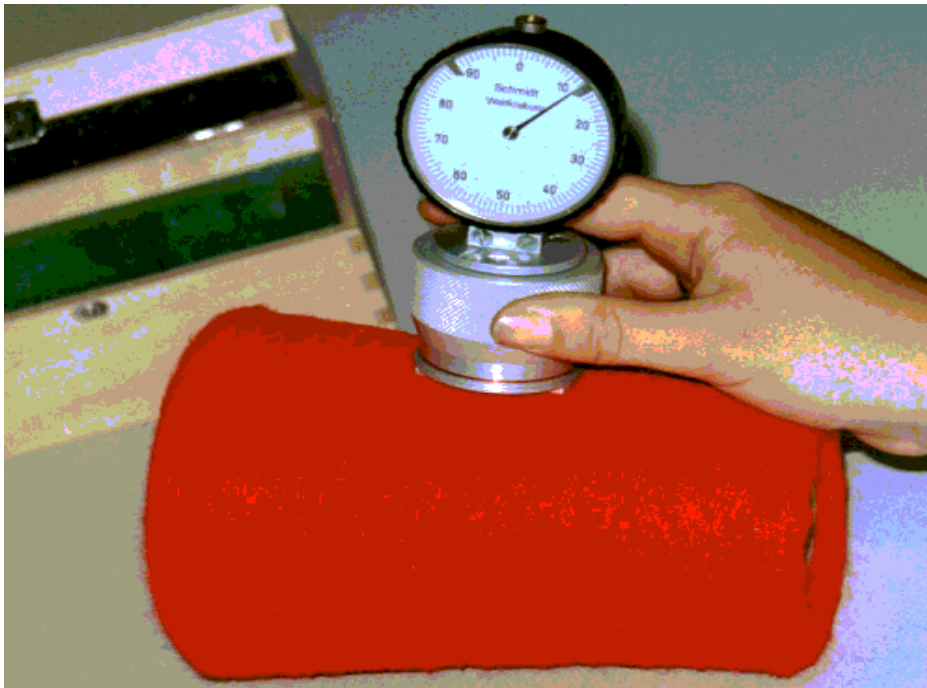


Figura 4.129
Medición de la densidad de empaquetado de una bobina

8.0.0- REUNIÓN Y RETORSIÓN

Producir un **hilo** multicabo es más caro que producir los mismos metros de un **hilado** (*de un solo cabo*) de sección equivalente. Por ejemplo, para producir un hilo de dos cabos se necesitarán tres veces más husos: un huso para cada cabo y un tercero para la retorsión. A esto debe, naturalmente, sumarse el costo de reunir los cabos previamente a la retorsión.

¿Cuáles son, entonces, las ventajas de producir hilos multicabo? Al reunir varios hilados y retorcerlos juntos se busca que el "**hilo multicabo**" resultante posea: **1) mejor regularidad** por compensación de la irregularidad de cada cabo, **2) mayor resistencia a la tracción**, **3) menor rigidez** que la que tendría un hilo de sección equivalente hecho de un solo cabo, **4) aspecto especial** resultante de la combinación de cabos de diferentes fibras, colores, tensiones, torsiones, etc. En general se retuercen 2 o 3 cabos y ocasionalmente 4 o más (*hilos cableados*).

Salvo en los casos de algunos hilados fantasía, en general todos los cabos tienen las mismas cantidades de torsión y se les aplica retorsión en sentido inverso a la torsión que traen. Si los cabos recibieron (*como es lo más común*) torsión **Z**, las retorsiones serán **S**, o viceversa. Es decir, la retorsión anula, parcial o totalmente, la torsión que traen los cabos. Se pueden considerarse **tres niveles de relación entre la cantidad de retorsión aplicada sobre la cantidad de torsión que traen los cabos**. Por ejemplo, después de aplicarle 100 **retorsiones S** a cabos con 200 torsiones **Z**, cada uno de estos quedará con solo 100 torsiones **Z** residuales (*relación 0,5*). Si se aplican 200 retorsiones **S**, los cabos quedarán sin torsión (*relación 1,0*) y finalmente si se aplican 300 retorsiones **S**, cada cabo quedará con 100 torsiones **S** (*relación 1,5*).

Los hilos con una relación de **0,5**, en que los cabos aún conservan parte de las torsiones que les fueron insertadas originalmente, tienen buena voluminosidad, mano suave y son adecuados para utilizar en tejeduría de punto. Como las torsiones producen una contracción de la longitud, la retorsión, al sacar torsiones originales, producirá un hilo multicabo de mayor longitud que los cabos por separado, lo que se debe tener en cuenta en la determinación del título final. Los hilos con una relación de **1,0**, en que los cabos han perdido las torsiones originales que traían y las fibras se han enderezado, son de buena resistencia a la tracción y aptos para producir telas planas que pueden ser frizadas. Los hilos con una relación de **1,5**, en que los cabos perdieron las torsiones que traían y adquirieron un 50% en sentido contrario, son hilados de mano más dura pero que igualan muy bien las mezclas de colores. Estos hilados presentan un acortamiento por contracción del 3,5 al 5,0 % y por tanto los cabos deben producirse a 0,95 a 0,965 % del título nominal para que el hilo multicabo tenga el título final proyectado. Los hilos multicabo en los que se aplicó retorsión en el mismo sentido que la torsión que traen los cabos (**Z sobre Z**, *p. ej.*) son hilados más fuertes y compactos. De esta forma se producen hilos tipo fantasía como *p.ej.* el "crêpe".

8.1.0- PROCEDIMIENTOS DE INSERTAR RETORSIÓN

Se pueden usar diferentes procedimientos para insertar retorsión pero todos ellos implican reunir de alguna manera los cabos, retorcerlos y finalmente bobinar el hilo multicabo. Un procedimiento sencillo, si bien no muy económico, consiste en reunir los cabos en una máquina que los bobina juntos. Esas bobinas de cabos reunidos se llevan luego a otra máquina que no es más que un continuo de anillo sin campo de estirado, en la que se aplican las retorsiones.

Otro procedimiento es el **sistema Hamel**, en el que una máquina del tipo *continua de anillo* reúne los cabos y les inserta algo de torsión (*p.ej.* 20 *t/m*) produciendo bobinas cilíndricas. Esas bobinas se llevan a otra máquina y se colocan paradas en receptáculos también cilíndricos con orificio que permiten que el hilo se desenrolle por un extremo y salga hacia arriba. Al salir el hilo

hacia arriba es bobinado nuevamente a gran velocidad, completándose de esta manera la inserción de retorsiones.

Un procedimiento con el que se ahorra mucha energía es el “**dos por uno**” en el que los cabos reunidos en una bobina estacionaria o quieta, se desenrollan y pasan por el huso hueco recibiendo así una retorsión por cada giro del huso. Al salir por debajo, los cabos se dirigen hacia arriba para ser bobinados recibiendo una segunda retorsión por cada vuelta del brazo que gira solidario con el huso. Para el caso de hilados de dos cabos, algunos modelos permiten colocar las bobinas de cada cabo una sobre otra (ver Figuras 4.130 y 4.131).

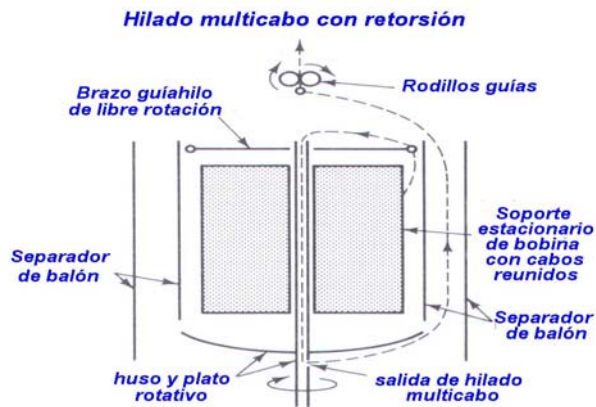


Figura 4.130

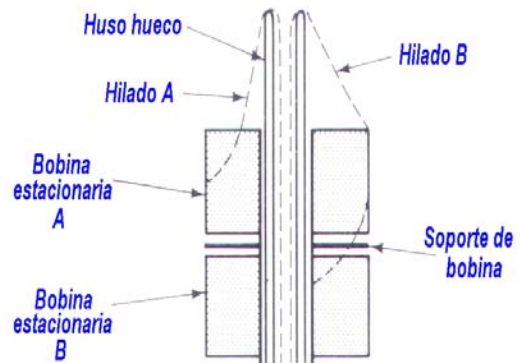


Figura 4.131

Otro método muy original de insertar **retorsión** es el **SCIROSPUN**. Con el **se imparte torsión y retorsión al mismo tiempo**, ahorrándose también mucha energía y mano de obra. Se trabaja con dos mechas por huso en una continua de anillo. Las mechas vienen paralelas desde el tren de estirado y se unen al pasar por un guía hilo (“**parahilo**”) (ver Figuras 4.132 y 4.133). Cada mecha recibe torsión en el mismo sentido que la retorsión y por tanto los hilos **SCIROSPUN** son más duros que los convencionales y no son recomendables para algunos usos.

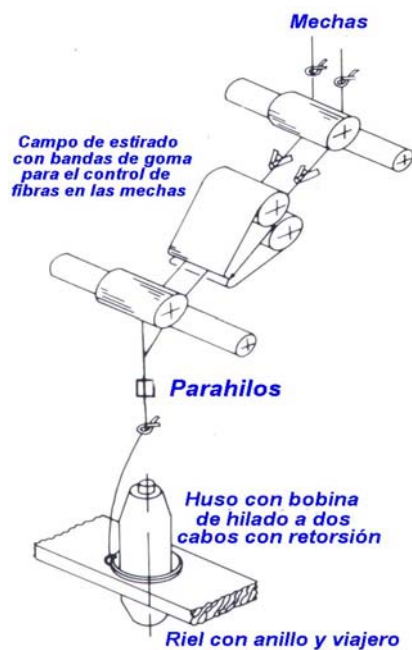


Figura 4.132

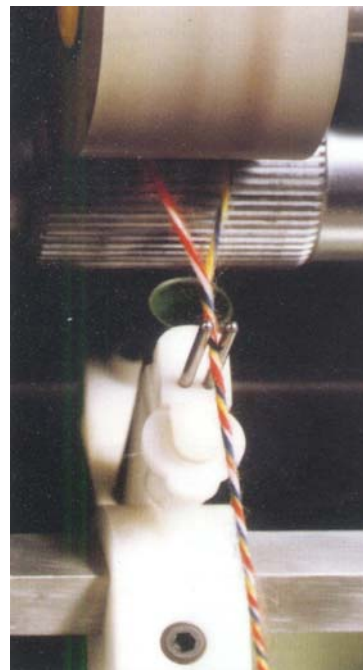


Figura 4.133

9.0.0- MÉTODOS NO TRADICIONALES DE HILATURA

Los métodos no tradicionales de hilatura continua pueden agruparse en tres categorías:

a) Hilatura de fibras liberadas (“open end spinning”)

Se inserta torsión al extremo final no compactado de la mecha. La torsión se va aplicando de adentro hacia fuera, es decir desde el “núcleo” hacia la vaina del hilado en formación (*en las hilatura R/S la torsión se aplica desde la “vaina” hacia el “núcleo”*). Los sistemas más conocidos son: la hilatura de “rotor”, la hilatura por *fricción* (“Dreft”), la hilatura “vortex” y la hilatura “axial”.

b) Hilatura por falsa torsión

Como hemos visto, en la hilatura de lana por sistema cardado se aplica falsa torsión a la mecha a la salida de la carda (*en los “rotofrotadores”, ver secc. 3.0.0*). En la hilatura de lana por sistema peinado se aplica falsa torsión a la mecha luego del último “pasaje” (*en el “finisser”, ver Tabla 4.6*). En el sistema de hilatura por autotorsión “Repcó”, como veremos, la falsa torsión es el fundamento del sistema.

c) Hilatura sin inserción de torsión

En estos procedimientos las fibras de la mecha se mantienen unidas, p.ej. por medio de un *filamento envolvente*, como en el caso de la hilatura *Parafil* (Süssen), o por la *envoltura de algunas fibras de la vaina*, como en el sistema “Air Jet” (Du Pont, Murata), o por *afieltrado de las fibras* como en el caso del sistema “Periloc” para lana, o por medio de *adhesivos*, como en los sistemas “TNO”, “Pavena” (Rieter), “Bobtex”, etc., etc. Describiremos brevemente algunos de estos sistemas y por más detalles se debe consultar la bibliografía indicada al final del capítulo.

9.1.0- HILATURA A “CABO ABIERTO” DE ROTOR (O/E ROTOR)

Es el más exitoso comercialmente. Sus antecedentes se remontan al siglo XIX con la solicitud de patente del inglés Samuel Williams, en 1807. Luego, ya en el siglo XX, el danés Elmar Berthelsen presenta una patente en 1937 que no tuvo resultados comerciales. En 1955 en la feria textil ITMA de Bruselas se presenta un prototipo desarrollado por el alemán Julius Meimberg, pero recién en 1965 un grupo de investigadores checos, bajo la dirección de Vaclav Rohlena, desarrolla el primer equipo con aplicación comercial: el KS 200, con 60 posiciones de hilatura, capaz de producir hilado de 25 tex a unas revoluciones del rotor de 20.000 a 23.000 rpm y con un rendimiento 50% superior al de la hilatura de anillo. En la ITMA de 1967 la empresa ELITEX presenta el modelo BD 200, con grandes mejoras con respecto al modelo KS 200, y que tuvo un gran éxito comercial. En los modelos recientes con rotores de 28 mm de diámetro se alcanzan giros de hasta 150.000 rpm.

La hilatura de “cabo abierto” u “open end” se utiliza preferente para fibras cortas, como el algodón o fibras químicas de corte algodonoero, y los hilados más delgados que se pueden obtener son, actualmente, cercanos a título 40 Ne. La mecha, proveniente de la carda y, generalmente, de dos pasajes de “manuar”, es disgregada en fibras individuales por una “cardina” ubicada antes del “rotor”. Las fibras sueltas son transportadas por una corriente de aire hacia un surco periférico en el interior del rotor (*ver figura 4.134 y 4.135*). El rotor al girar va insertando *torsión* (una torsión por cada giro) a las fibras que van cayendo en el surco, hasta que el hilado, ya formado, sale del rotor axialmente. La torsión es aplicada entonces de adentro hacia fuera del hilado, al contrario de lo que ocurre en la hilatura de continua de anillo. Las primeras fibras que caen en el surco formarán el núcleo del hilado y recibirán falsa torsión. Las últimas fibras, especialmente las más largas, actúan como envolventes y quedan en la vaina recibiendo algo de torsión verdadera. El hilado “open end” presenta entonces una mezcla de “falsa torsión” con “torsión verdadera”. El nombre de “hilatura de cabo abierto” o de “fibras liberadas” u “open

end" es justamente porque la torsión se comienza a aplicar en la "cola" del hilado con "fibras liberadas".

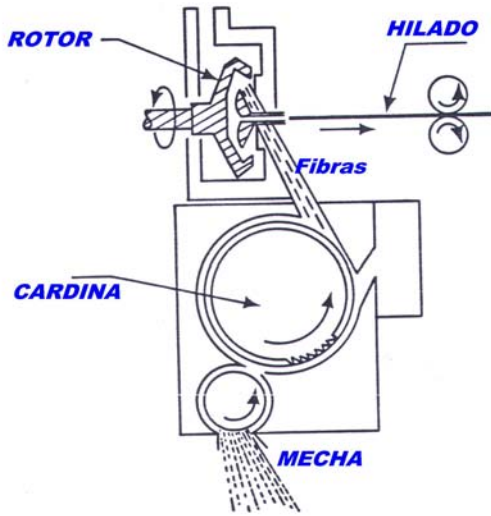


Figura 4.134



Figura 4.135

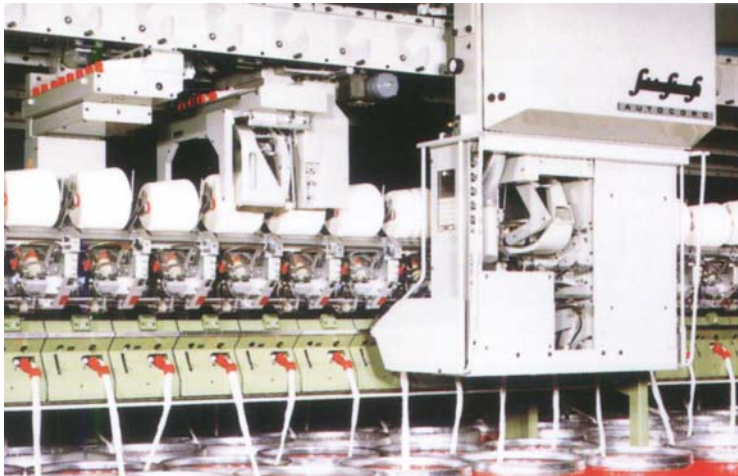


Figura 4.136
BANCADA DE "OPEN END"



Figura 4.137
CAJA DE ROTOR ABIERTA



Figura 4.138
ROTORES

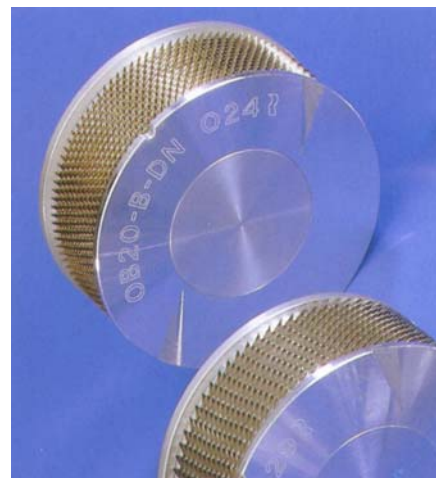
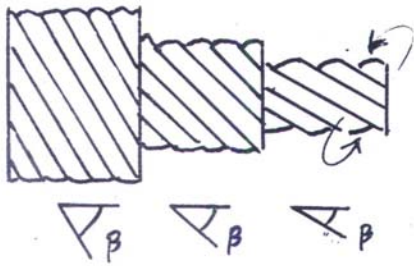
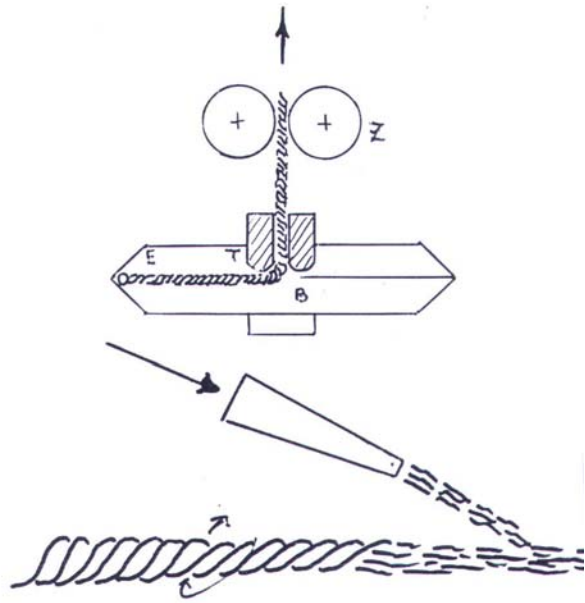


Figura 4.139
CARDINAS



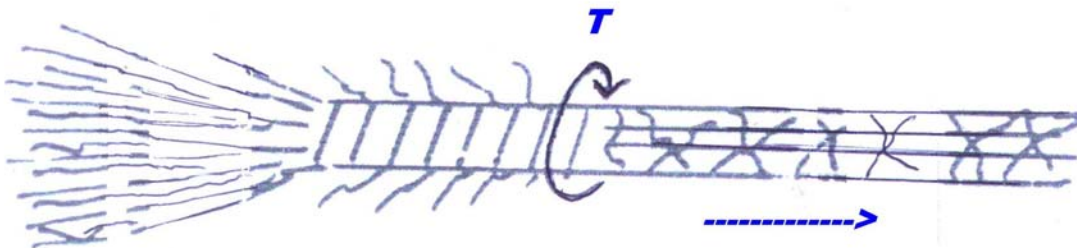
HILADO DE CONTINUA DE ANILLO

Figura 4.140
La torsión se inserta de afuera hacia adentro



HILADO "OPEN END"

Figura 4.141
La torsión se inserta de adentro hacia afuera



**El hilado "open end" presenta mezcla de "falsa torsión" con "torsión verdadera" :
"falsa torsión" en el núcleo y "torsión verdadera" en la vaina**

Figura 4.142



Figura 4.143
HILADO DE CONTINUA DE ANILLO

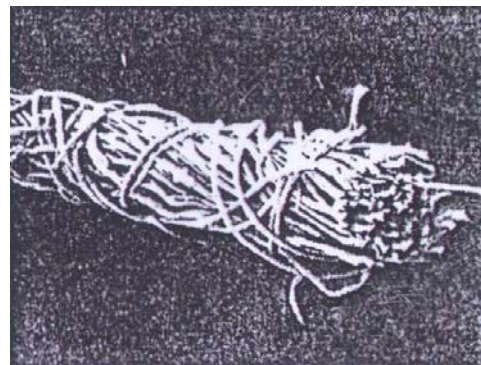


Figura 4.144
HILADO "OPEN END"

La mecha de entrada es en general 40 a 300 veces más gruesa que el hilado de salida (*4-8 ktex*). Como ya se dijo, generalmente proviene de dos pasajes de *manual*, suprimiéndose el pasaje por *mecheras*, ya que no es necesario insertar torsión de compactación a una mecha que luego va a ser disgregada por la *cardina*.

La velocidad de alimentación de la mecha a la *cardina* debe estar muy bien regulada: si es muy baja, puede haber mucho ataque y rotura de fibras y, si es muy alta, una mala disgregación o separación de fibras. La mecha debe venir con buena regularidad de medio y largo período ya que la regularidad de corto período se logra en el mezclado de fibras que se produce entre la *cardina* y el rotor: deben pasar al rotor cuatro o menos fibras, con lo que se obtiene casi una "irregularidad límite". Un pasaje de más de 4 fibras por vez generalmente causa problemas.

Las fibras al pasar al rotor transportadas por una corriente de aire tienen oportunidad de "relajarse" y por tanto en un hilado "open end" hay menos migración de fibras que en uno de "continua de anillo". Según los modelos, el flujo de aire puede provenir de una fuente externa o ser autoimpulsado por el giro del rotor que, con ese fin, tiene perforaciones en sitios adecuados. Si estos orificios se tapan se producen serios inconvenientes por lo que, en los modelos recientes, se prefiere la primera opción.

9.1.1- Algunas de las ventajas de la hilatura de algodón por proceso "open end"

- 1- El proceso de hilatura "*open end*" (O/E) tiene menos operaciones que el de "*continua de anillo*" (R/S), pues la etapa de inserción de torsión en "*mecheras*" no es necesaria ya que la mecha es disgregada por la *cardina* antes de entrar al *rotor* (ver Figuras 4.145 y 4.146). El cambio de "canillas" llenas por vacías y el bobinado final en la hilatura R/S, es innecesario en la hilatura O/E pues se obtienen directamente bobinas de gran tamaño. Hay por tanto una reducción importante en los *costos operativos*.
- 2- La productividad de la hilatura O/E es mayor que la de R/S pues la velocidad de entrega lineal de hilado va de 5 a 15 veces más (*10 - 20 m/min en R/S a 100 - 150 m/min en O/E*).
- 3- Comparado con el hilado de R/S, el hilado O/E es más regular, tiene menos defectos de corto período, menos cantidad de nudos o empalmes, no forma "caracolillo" y no necesita ser vaporizado para quitar tensiones.
- 4- Tiene muy buena *resistencia a la abrasión* pues como es en el núcleo del hilado donde están radicadas la mayor parte de las torsiones, su resistencia a la tracción no se verá mayormente afectada si, por abrasión, se pierden algunas fibras de la vaina.

9.1.2- Algunas de las desventajas de la hilatura de algodón por proceso "open end"

- 1- Solo se pueden utilizar fibras cortas. Las fibras largas requerirían rotores de mayor diámetro que consumirían mucha energía y no serían económicos.
- 2- El hilado O/E hasta ahora sólo se pueden producir en títulos medios y gruesos y no en toda la gama de títulos como con los hilados de R/S. Los títulos van, aproximadamente, de *Ne 5/1 a 40/1*. Sin embargo, con los equipos de hilatura O/E más modernos se están obteniendo hilados cada vez más delgados de hasta 10 Ne
- 3- El hilado O/E es de menor resistencia a la tracción que el de R/S. El tacto y lustre del hilado O/E es también inferior al de R/S. Los procesos húmedos de terminación deben adaptarse a las características particulares del hilado O/E.
- 4- La calidad de la materia prima, y especialmente su limpieza, es más crítica para la hilatura O/E que para la R/S. El algodón, p.ej. debe tener un alto grado de madurez y un bajo valor de "*micronaire*".
- 5- El *costo financiero* de un equipo de hilatura O/E es mucho mayor que el de una R/S. Se estima que la inversión es de U\$S 200 por huso de R/S y de U\$S 2000 por rotor de O/E.

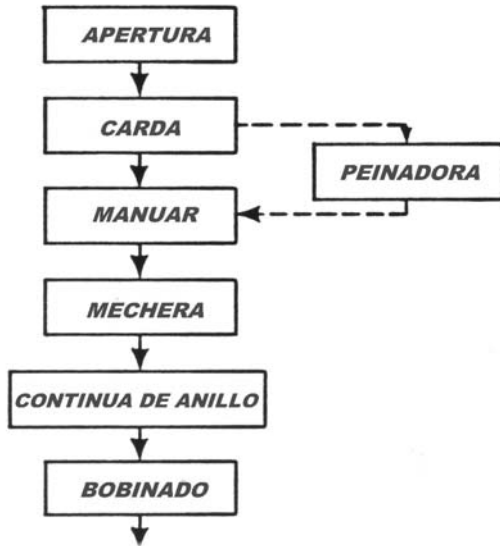


Figura 4.145

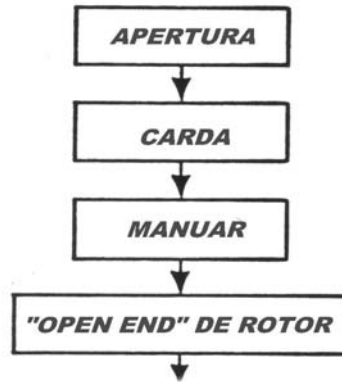


Figura 4.146

DIAGRAMAS DE FLUJO DE HILATURAS "R/S" y "O/E"

9.1.3- Usos del hilado "open end"

El hilado O/E es especialmente adecuado para obtener telas planas de buen aspecto y con mayor opacidad. Por su menor resistencia a la tracción se utilizan en trama y no en urdimbre. Una de las mayores aplicaciones del hilado O/E es justamente su utilización como trama en las telas "denim" para la producción de "jeans". Su menor resistencia a la tracción pero mayor resistencia a la abrasión lo hacen especialmente indicado para tejidos de punto. La mínima tendencia a formar "caracolillo", el buen desenrollado de las bobinas, la mejor regularidad son también factores que hacen que el hilado de O/E sea muy adecuado para la tejeduría de punto (ver Cap.6, Tabla 6.6).

9.2.0- HILATURA A "CABO ABIERTO" POR FRICCIÓN (O/E DREFT)

Este sistema de hilatura fue desarrollado en Austria, en la década de 1960 a 1970, por el Dr. Ernst Fehrer y por ello se le conoce abreviadamente como "DREFT". El equipo básicamente es alimentado por una mecha de carda de 15 a 40 ktex que es nuevamente disgregada en un tambor de carda. Las fibras separadas y sueltas caen en la garganta de dos cilindros perforados a los que se les aplica vacío. En esa garganta las fibras se orientan y compactan en una mecha

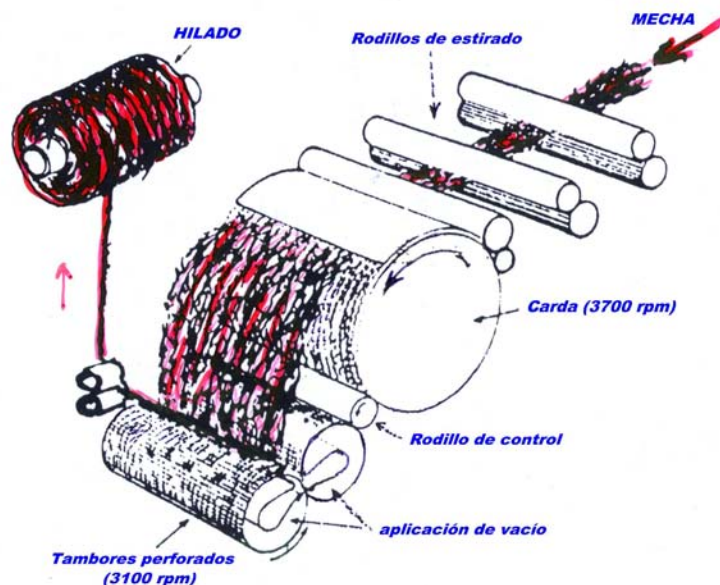


Figura 4.147

que va recibiendo torsión por la fricción que se genera debido al giro de los tambores perforados. El procedimiento permite trabajar con fibras largas como *lana* (largos de 30 a 200 mm) y obtener *hilados gruesos*, del tipo de los que se obtienen en el sistema cardado. La productividad es muy alta pues la velocidad de entrega lineal de hilado es de aproximadamente *300 m/min*. El sistema *DREFT III* utiliza un filamento continuo como núcleo al que se le adhieren las fibras cortas que van cayendo en la garganta de los tambores. Los hilados *DREFT* son especialmente aptos para alfombras, mantas, tapicería y usos industriales.

9.3.0- HILATURA A "CABO ABIERTO" POR JET DE AIRE (O/E VORTEX) (Figura 4.148)

Las fibras, suspendidas en una corriente de aire entran tangencialmente al tubo principal. El aire forma un vórtice y sale en sentido contrario al hilado. Las fibras al reunirse en el centro del vórtice van formando la cola del hilado. Se insertan unas 5000 torsiones por minuto de adentro hacia fuera. Se estima que un 20% de las fibras no llegan a unirse a la cola del hilado y por tanto se deben reciclar estas fibras a la carda o usar un mecanismo de inserción de torsión suplementario. Dadas las características del sistema de hilatura no se pueden hilar fibras rígidas. El hilado producido tiene mejor regularidad pero menor resistencia a la tracción que el de "continua de anillo". El equipo ocupa un 40% menos de área fabril, no produce polvo ni residuo volador y requiere menos energía y mano de obra que la hilatura de anillo.

9.4.0- HILATURA A "CABO ABIERTO" POR JET DE AIRE (O/E AXIAL) (Figura 4.149)

Una mezcla de fibras y aire entra en un tubo giratorio con una aguja central que guía las fibras y un canasto de agujas ajustables. En forma similar al sistema Vortex, las fibras al reunirse van formando la cola del hilado. El canasto gira a unas 20.000 rpm. La velocidad de entrega y las características del hilado producido son similares al obtenido por el procedimiento Vortex. Se ha estudiado la posibilidad de incorporar fuerzas electrostáticas que mejoren la formación del hilado pero hasta ahora los resultados no han sido satisfactorios.

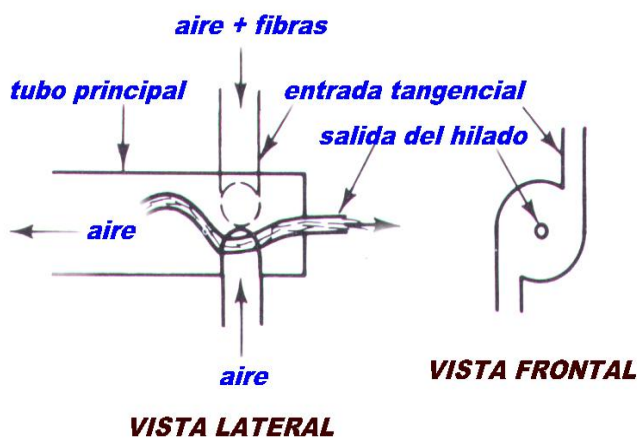


Figura 4.148
VORTEX

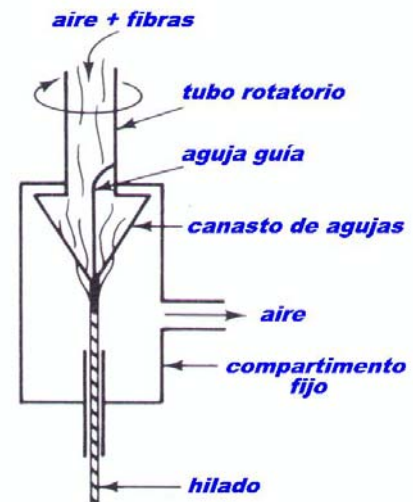


Figura 4.149
AXIAL

(Figuras tomadas de "Spun Yarn Technology", Eric Oxtoby)

9.5.0- HILATURA POR FALSA TORSIÓN (AUTOTORSIÓN "REPCO")

Los rodillos que forman el par delantero de salida (ver Figura 4.150), además de girar, son reciprocantes a lo largo de sus ejes, recorriendo unos 11 cm en cada ciclo. Como consecuencia del movimiento reciprocante cuando el desplazamiento es en un sentido, se aplicará torsión, p.ej., *S* al tramo que viene y *Z* al tramo que ya pasó. Cuando el rodillo regresa se invierten los sentidos, aplicándose torsión *Z* al tramo que viene y *S* al que ya pasó. Las dos mechas recibirán entonces *falsa torsión alternante*.

Si estos cabos, con falsa torsión aplicada en tramos cortos, se ponen en contacto entre ellos tenderán a envolverse mutuamente. En cada cabo hay zonas de *torsión cero* que corresponden a los cambios de *S* a *Z* o viceversa. Si antes de que ambos cabos se encuentren, a uno de ellos se le hace recorrer más distancia que al otro, al unirse, los tramos sin torsión de cada uno no coincidirán. El tramo sin torsión de un cabo estará reforzado por la torsión del otro cabo, a lo que se sumará la *retorsión* de ambos. Por otra parte los tramos sin retorsión estarán reforzados por la *torsión* de los cabos. El sistema *SELFIL* utiliza uno o dos filamentos en sustitución de uno de los cabos de fibras discontinuas.

Los equipos Recco consumen un 45% menos de energía que la hilatura R/S, ocupan menos espacio y mano de obra. La velocidad lineal de entrega de hilado es alta: 200 m/min. El hilado tiene muy buena resistencia a la tracción con pocos paros por rotura durante la hilatura. Su aplicación, sin embargo es limitada: p.ej. no puede utilizarse en tejeduría de punto por la tensión variable que presenta. Por otra parte, su aspecto y su tacto lo hacen inaceptable para usarlo en algunos artículos.

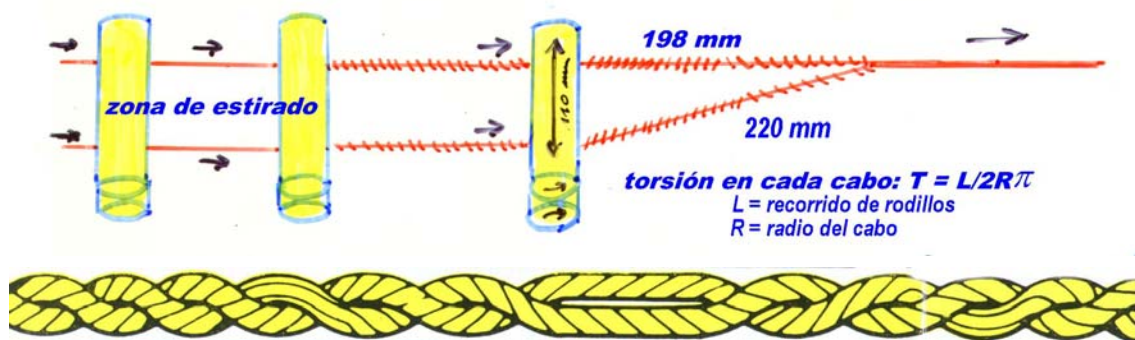


Figura 4.150
HILADO REPCO

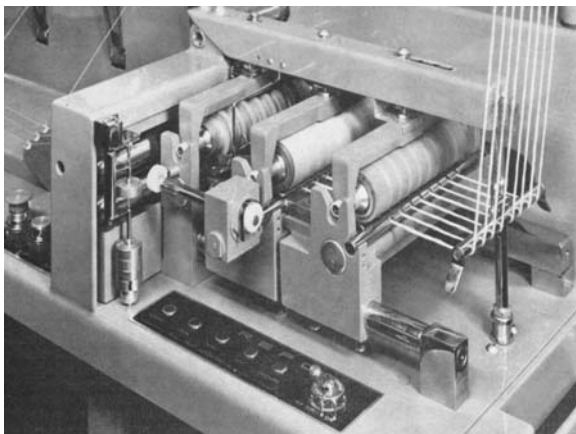


Figura 4.151



Figura 4.152

EQUIPO DE HILATURA REPCO

9.6.0- HILATURA SIN INSERCIÓN DE TORSIÓN

Los hilados elaborados por procedimientos que no aplican torsión presentan características interesantes como, p.ej.: mayor voluminosidad, mayor lustre y mayor suavidad, produciendo telas planas más fáciles de “perchar” o “frisar” y, en el caso del algodón más absorbentes así como tejidos de punto menos deformables, etc.

El hilado “**AIR JET**” o “**FACIATADO**” fue patentado por primera vez en 1960 por la empresa DuPont . Como se muestra en la *Figura 4.153*, el hilado consiste en un núcleo de fibras paralelas “atadas”, por algunas de las fibras más externas. Ese “atado” se produce después que el conjunto de fibras pasa por el jet de aire que inserta falsa torsión. La empresa japonesa Murata perfeccionó este sistema que tiene un relativo éxito comercial. Con él se pueden producir hilados de algodón solo o en mezcla íntima con fibras químicas de 7,5 a 30 tex con entregas de 100 a 200 m/min. La resistencia a la tracción de estos hilados es más baja que la de los hilados R/S (*aunque puede mejorar cuando está presente algo de poliéster*) y su tacto es también un poco más áspero. Los hilados Parafil como los faciatados se utilizan tanto en telas planas como en tejidos de punto, presentando muy buen poder cubriente y permitiendo una gran penetración de los colorantes, lo que a su vez permite obtener gran intensidad de color en el teñido y en la estampación.

El sistema **PARAFIL**, desarrollado por la empresa Suessen, consiste en envolver una mecha de carda con un filamento continuo. La mecha, previo pasaje por un tren de estiraje, pasa por dentro de un huso hueco. El filamento, procedente de la canilla insertada en el huso, pasa también por el interior del huso, y el giro de este hace que el filamento envuelva a la mecha (*ver Figura 4.154 y 4.155*). Es un sistema muy económico capaz de producir cinco veces más que la hilatura R/S con un consumo de energía mucho más bajo. El sistema Parafil 1000 trabaja con fibras de 25 a 60 mm de largo y el Parafil 2000 con fibras de 60 a 220 mm. Con este sistema de hilatura se puede obtener una gran variedad de hilados, especialmente del tipo fantasía, hechos con todo tipo de fibras y filamentos. Es muy interesante la posibilidad de utilizar fibras recuperadas del desperdicio o recicladas. Los hilados Parafil tienen gran aplicación en tapicería, alfombras, mantas y tejidos de punto. Las telas tejidas con estos hilados tienen un tacto más suave y mayor voluminosidad.

El sistema **TNO**, desarrollado por el instituto holandés de investigación del mismo nombre, consiste en impregnar una mecha en una solución de adhesivo, insertarle un mínimo de falsa torsión y luego secar (*Figura 4.156*). En el sistema **PAVENA**, de la empresa suiza Rieter, se impregna una cinta de manuar con 2 a 4% de adhesivo (*y colorantes, si se desea*), se exprime el líquido excedente y se aplica una muy alta presión (*20 MPa*) en menos de 0,01 segundo. Por este método se alcanzan velocidades lineales de entrega de hilado de 300 m/min. En el sistema **BOBTEX ICS** se unen tres elementos: un filamento continuo, un polímero fundido y fibras cortas o cortadas y el conjunto es sometido a un mínimo de falsa torsión (*Figura 4.157*). El hilado final consiste en el filamento como núcleo rodeado por el polímero solidificado sobre el que se han adherido las fibras. Estos hilados pueden tener entonces la alta resistencia a la tracción del filamento núcleo y el tacto y lustre de las fibras adheridas en el exterior. Se alcanzan velocidades de entrega de 600 m/min.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- “Spun Yarn Technology”, Eric Otoby, , Butterworths, London
- 2- Folletos comerciales

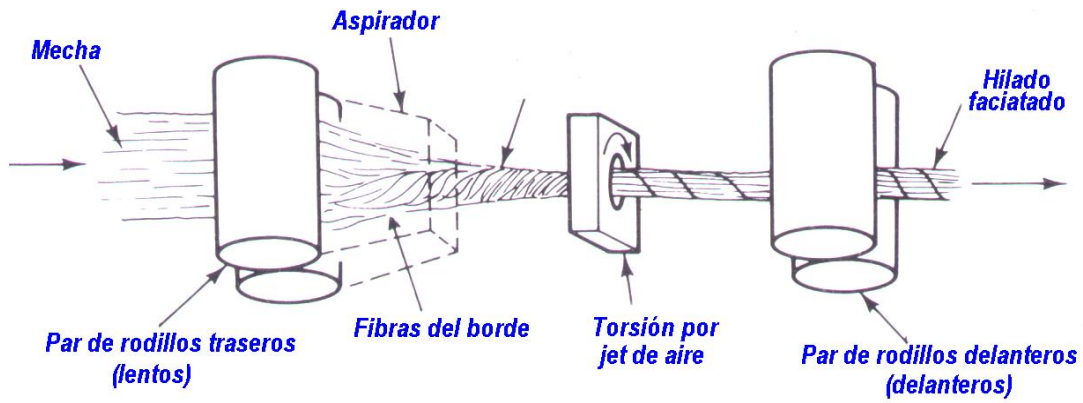


Figura 4.153
PROCEDIMIENTO "AIR JET" o "FACIATADO"

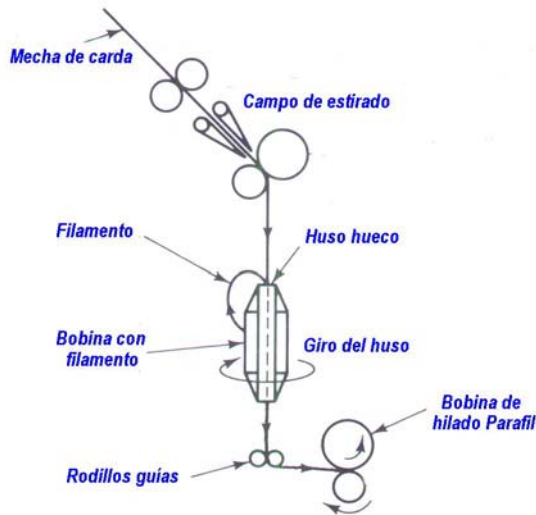


Figura 4.154
SISTEMA PARAFIL



Figura 4.155
Hilado PARAFIL



Figura 4.156
SISTEMA TNO

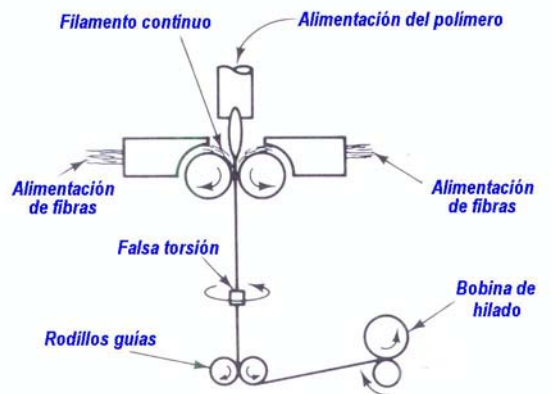


Figura 4.157
SISTEMA BOBTEX

(figuras tomadas de "Spun Yarn Technology", Eric Oxtoby)

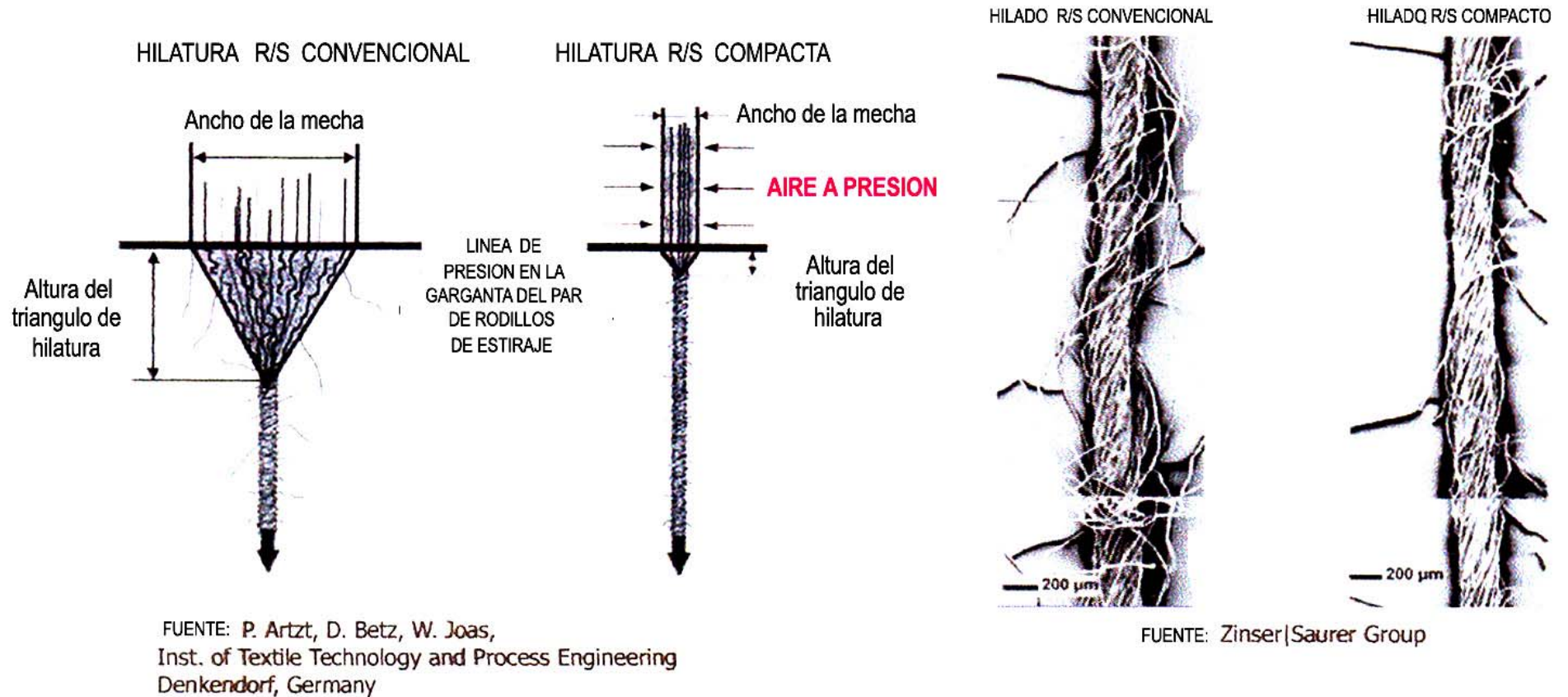
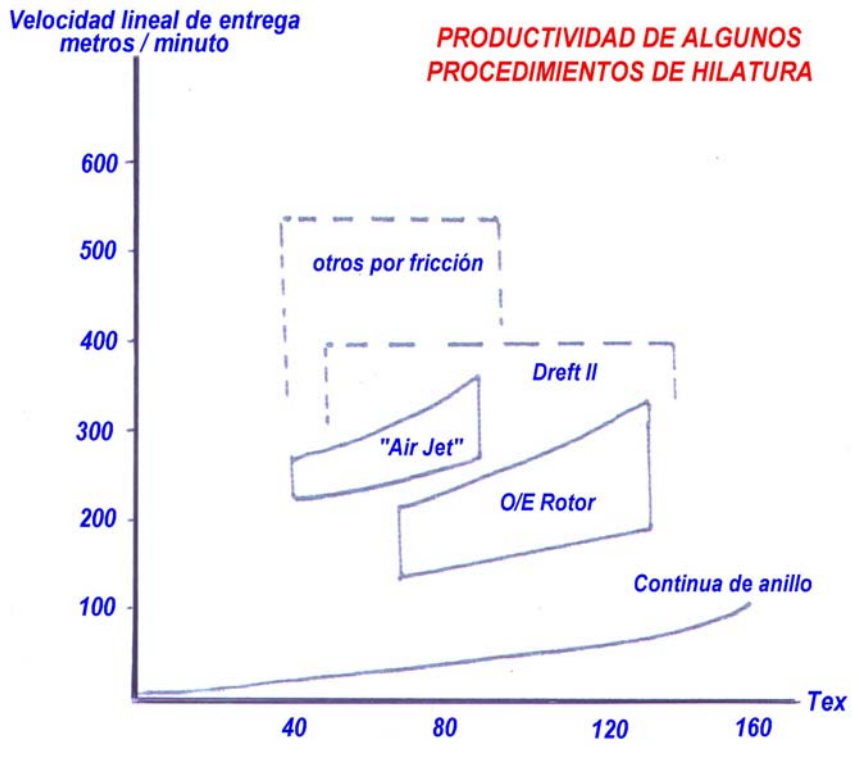
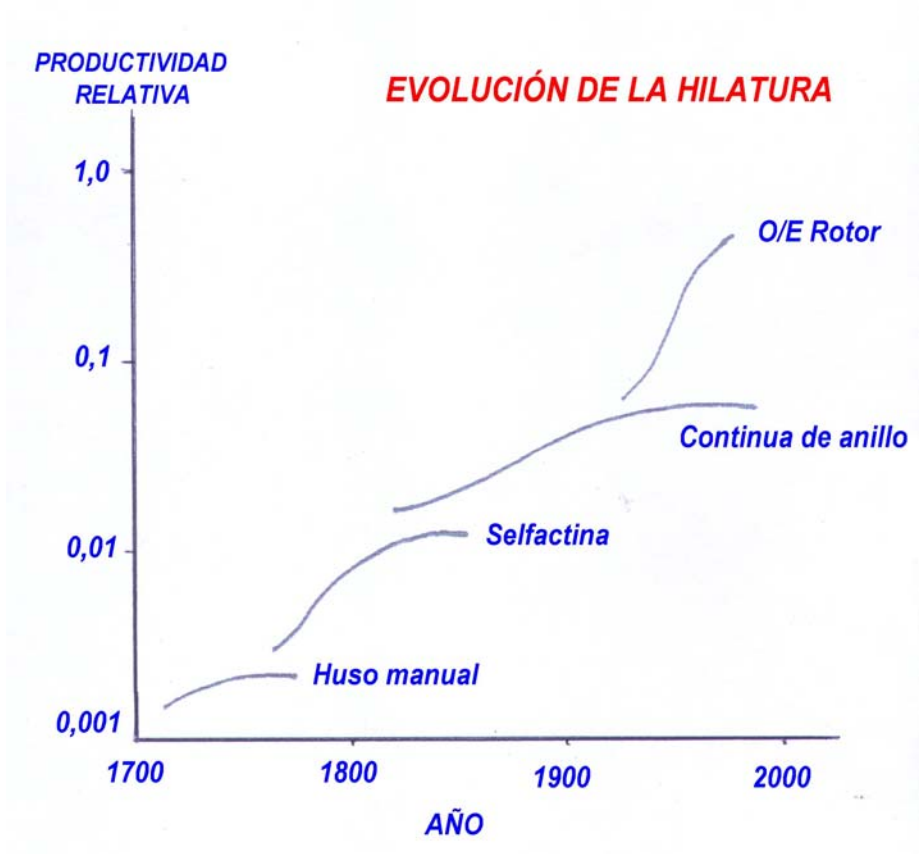


Figura 4.158
HILATURA COMPACTA

El reciente desarrollo de la hilatura compacta es en realidad una mejora del método convencional de la hilatura de "continua de anillo". Consiste en compactar la mecha en el campo de estiraje del tren de estiraje final, previo a la inserción de torsión, *por medio de la acción de aire comprimido inyectado lateralmente*. Este procedimiento mejora la regularidad y reduce la pilosidad del hilado, ahorrando la cantidad de torsiones a insertar.



Figs. 4.159 y 4.160 * EVOLUCIÓN DE LA HILATURA

10.0.0- CONTROL DE CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA

A continuación damos una lista tentativa de algunos controles de calidad que las hilanderías deben realizar sobre la material prima que reciben.

10.1.0- CONTROLES DE CALIDAD PARA **ALGODÓN** ANTES DE INGRESAR A LA HILANDERÍA

- 10.1.1- **Grado de limpieza** (polvo, vegetales otras fibras, metales, etc.)
- 10.1.2- **Color** (comparación contra standares)
- 10.1.3- **Largo de fibra** (fibrómetros)
- 10.1.4- **Finura y grado de madurez** .“Índice Micronaire” (* ver más abajo)
- 10.1.5- **Resistencia a la tracción** (dinamómetros)
- 10.1.6- **Contenido de humedad** (gravimetría)
- 10.1.7- **Contenido de azúcares** (determinación de azúcares reductores)

10.2.0- CONTROLES DE CALIDAD PARA **LANA SUCIA** (fardos conteniendo vellones)

- 10.2.1- **“Core Test”**(vegetales, rendimiento al lavado, % de grasa, diámetro aparente)
- 10.2.2- **Finura**
- 10.2.3- **Uniformidad de finura**
- 10.2.5- **Longitud de mecha**
- 10.2.6- **Resistencia a la tracción de la mecha**
- 10.2.7- **Posición de la rotura**
- 10.2.8- **Fibras meduladas**
- 10.2.9- **Fibras coloreadas**
- 10.2.10- **Cantidad de rizo por cm**
- 10.2.11- **Color**
- 10.2.12- **Voluminosidad**
- 10.2.13- **Rendimiento al lavado**

10.3.0- CONTROLES DE CALIDAD PARA **LANA LAVADA** ANTES DE INGRESAR A PEINADURÍA

- 10.3.1- **Finura** (“air flow”)
- 10.3.2- **Materia vegetal**
- 10.3.3- **Grasa %**
- 10.3.4- **Humedad % a**
- 10.3.5- **pH del extracto acuoso**
- 10.3.6- **Solubilidad en urea-bisulfito**
- 10.3.7- **Solubilidad alcalina**
- 10.3.8- **Resistencia a la tracción**
- 10.3.9- **Voluminosidad**
- 10.3.10- **Fibras meduladas**
- 10.3.11- **Fibras coloreadas**
- 10.3.12- **Color**

10.4.0- CONTROLES DE CALIDAD PARA **“TOPS” de LANA** AL INGRESAR A HILANDERÍA

- 10.4.1- **Densidad lineal** (g/m) y su CV%
- 10.4.2- **Grasa %**
- 10.4.3- **Humedad %** (20°C, 65 % HR)
- 10.4.4- **pH del extracto acuoso**
- 10.4.5- **Hauteur / Barbe de la fibra y su CV %**
- 10.4.6- **Finura de la fibra** (“air flow”)
- 10.4.7- **Cantidad de fibras coloreadas**
- 10.4.8- **Cantidad de “neps”**
- 10.4.9- **Cantidad de vegetales**
- 10.4.10- **Grado de blanco** (color)

10.5.0- CONTROLES DE CALIDAD PARA **FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS**

- 10.5.1 **Humedad %**
- 10.5.2 **Longitud de las fibras** (Hauteur / Barbe)
- 10.5.3 **Finura de las fibras** (“air flow”)

(*) **RELACIÓN ENTRE FINURA, MADUREZ Y MICRONAIRE DEL ALGODÓN**

A la hora de **comercializar** el algodón, el **largo** de fibra, su **resistencia** a la tracción y su **micronaire** son las características más importantes a tener en cuenta, ya que afectan directamente al proceso de hilatura. El **índice micronaire** expresa tanto la **finura** como de la **madurez** de la fibra. **Índices de micronaire** de **3** corresponden a algodones muy finos, entre **3** y **5** a algodones de finura media e, índices superiores a **5** a algodones gruesos. La calidad final de un hilado o tela de algodón dependen en gran proporción del valor del **micronaire**. Cuando el valor es muy bajo hay mayor posibilidad de formación de neps y de que aparezcan problemas en el teñido (*un algodón inmaduro o "muerto" no se tiñe o se tiñe con dificultad. Ver Sec. 2.2.0 y 2.5.6 de este Capítulo*). Cuando el valor es muy alto no es posible obtener hilados delgados de buena calidad.

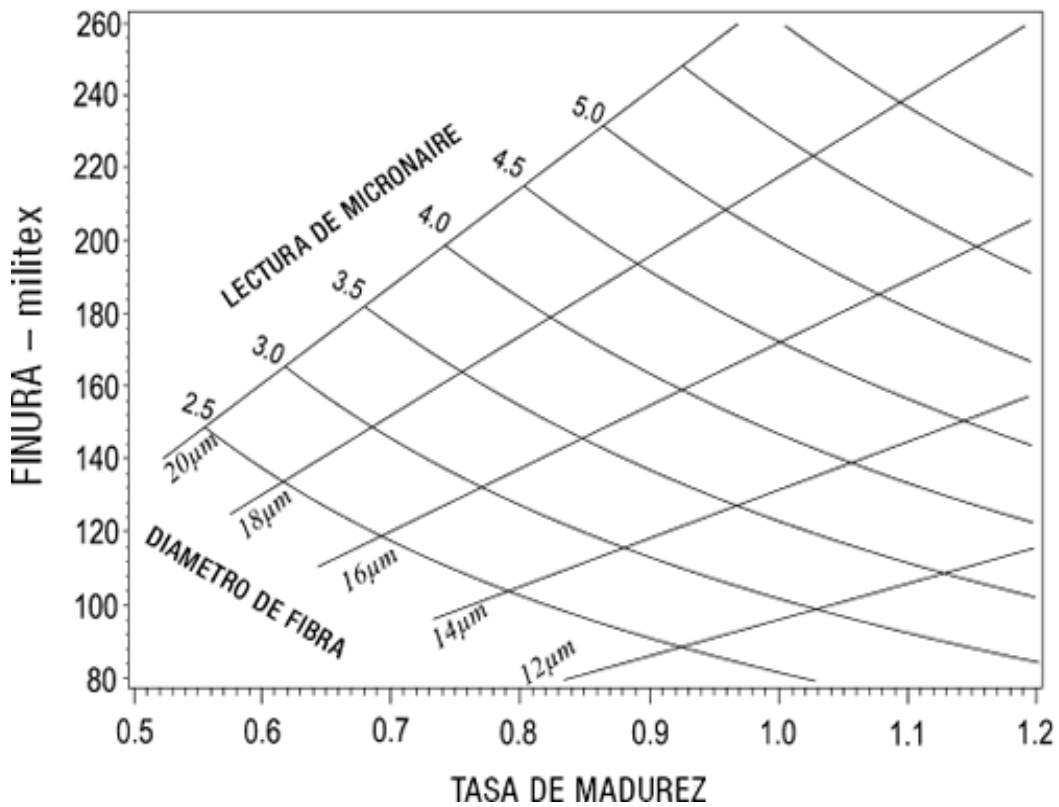


Figura 4.161

El ábaco muestra la relación entre **micronaire**, **finura**, **tasa de madurez** y **diámetro aparente** de la fibra. La sección transversal de la fibra es considerada como circular, lo que hace que los valores del diámetro de fibra en el ábaco sean aproximadas. Las curvas para el nivel de **micronaire** son empíricas y por lo tanto contienen error experimental. La **finura** es expresada en **densidad lineal** o **militex** ($\mu\text{g}/\text{m}$). El rango práctico de finura, p.ej., para el algodón U.S. Upland es de alrededor de 125 – 225 militex. El **micronaire** es expresado en unidades micronaire adimensionales. El rango práctico de micronaire, p.ej., para el algodón U.S. Upland es de 2.0 – 6.0. La **tasa de madurez** es una medición de la cantidad relativa de celulosa en la sección transversal de la fibra. Los valores son números adimensionales en el rango de 0.7 – 1.2.

TABLA 4.10
ESPECIFICACIONES PARA LANA DE 29 μ EN "TOP"
(Valores típicos establecidas por una hilandería)

1	Finura, μ	28.5 \pm 0,5
2	Hauteur, mm	> 87
3	CV % del Hauteur	< 52
4	Barbe, mm	> 105
5	Fibras más cortas de 25 mm, %	< 10
6	Neps / kg (hasta 2-3 mm)	< 500
7	Neps / kg (mas de 2-3 mm)	<15-20
8	Fibras oscuras y coloreadas / kg	< 600
9	Peso de la cinta, g / m	30 \pm 1
10	Regularidad de masa, CV %	< 4%
11	Grado de Blanco (fórmula W)	> 19,4
12	Grasa, %	0,4-0,5
13	Humedad (20°C, 65 % HR), %	16
14	pH del extracto acuoso	7.0

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Physical Testing of Textiles", B.P.Saville, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>

11.0.0- PROPIEDADES DE LOS HILADOS

TABLA 4.11

	PROPIEDAD PRINCIPAL	DEPENDE DE:
1	REGULARIDAD DE MASA	<ul style="list-style-type: none"> * materia prima (limpieza, tendencia a formar "neps", etc.) * morfología de la fibra (finura , largo y CV% del largo) * cantidad de fibras por sección del hilado * sistema de hilatura (p.ej. peinado o cardado) * gestión de calidad del proceso de hilatura
2	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> * tipo de fibra (peso, orden y orientación molecular) * largo de fibra y su CV% * finura de fibra y su CV% * índice de fricción interfibrilar * resistencia a la tracción de la fibra (tenacidad) * extensión de la fibras y grado de paralelismo * cantidad de fibras por sección del hilado * cantidad de torsión insertada al hilado * regularidad del hilado * condiciones ambientales (humedad y temperatura)
3	ALARGAMIENTO A LA TRACCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> * presencia de rizo en la fibra * largo de fibra y CV% * módulo tensil de la fibra * índice de fricción interfibrilar * cantidad de fibras por sección del hilado * cantidad de torsión insertada al hilado
4	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	<ul style="list-style-type: none"> * tipo de fibra * tipo de torsión insertada (p.ej. hilado R/S o O/E) * cantidad de torsión insertada
5	RIGIDEZ y FLEXIBILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> * módulo flexil de la fibra * largo de fibra y su CV% * cantidad de fibras por sección * cantidad de torsión insertada al hilado * hilado mono o multicabo
6	COMPRESIBILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> * presencia de rizo en la fibra * cantidad de fibras por sección del hilado * voluminosidad del hilado * cantidad de torsiones insertadas al hilado * módulos flexil y prensil de la fibra
7	VOLUMINOSIDAD (diámetro aparente)	<ul style="list-style-type: none"> presencia de rizo en la fibra cantidad de fibras por sección del hilado cantidad de torsiones insertadas al hilado
8	TÍTULO	<ul style="list-style-type: none"> densidad lineal de las fibras cantidad de fibras por sección del hilado contracción del largo luego de insertar torsión
9	ASPECTO (mate o brillante)	<ul style="list-style-type: none"> tipo de fibra cantidad de torsión insertada pilosidad terminación (p.ej. mercerizado, teñido, chamuscado)
10	PILOSIDAD	<ul style="list-style-type: none"> largo de fibra y su CV% finura de fibra y su CV% módulo flexil de la fibra migración de las fibras cantidad de torsión insertada al hilado tipo de hilado (p.ej. R/S, O/E, etc.)
11	TACTO (suave o áspero)	<ul style="list-style-type: none"> finura de fibra y su CV% largo de fibra y su CV% cantidad de torsiones insertadas al hilado hilado mono o multicabo terminación (p.ej. mercerizado, teñido, chamuscado)

11.1.0- REGULARIDAD

La **regularidad** es la propiedad más importante de un hilado. Como ya se ha discutido en Secciones previas, la regularidad de los hilados hechos con fibras discontinuas depende fundamentalmente de la **finura**, del **largo** y del **CV% del largo** de las fibras. Depende de la **finura** porque una ligera variación al azar en la cantidad de fibras por **sección del hilado**, es más notable cuando las fibras son gruesas que cuando son finas. Depende también del **largo** pues, como es altamente improbable que el final de una fibra coincida exactamente con el inicio de otra, la cantidad de **puntas de fibras por sección** afecta la regularidad del hilado. Por tanto cuanto mayor el **largo** de fibra, menor cantidad de **puntas de fibras por sección** habrá y mejor será la regularidad del hilado. Los hilados de multifilamento son, justamente, más regulares que los de fibras discontinuas por que no tienen, o tienen muy pocas, puntas de fibras por sección de hilado. La regularidad depende también del **CV % del largo** porque - en los campos de estiraje de las máquinas de hilandería - las **fibras cortas** pueden comportarse como **fibras flotantes no controladas** y, un alto porcentaje de ellas en la materia prima es una de las principales causas de irregularidad (ver Sección 440 "Reunión y Atenuación de Cintas").

Un hilado irregular (*salvo que sea un hilado "fantasía", al que se le han introducido irregularidades expresamente*) genera serios problemas de productividad durante el tisaje y además se obtienen telas de mal aspecto. El control de la regularidad de los hilados es entonces de fundamental importancia. Los modernos regularímetros electrónicos permiten determinar irregularidades no periódicas y periódicas de corto, medio y largo período (ver Cap.5, "Irregularidad de Masa en Hilados. Su medición y Control").

11.2.0- "TÍTULO", "NÚMERO", "CUENTA" Y DENSIDAD LINEAL DE UN HILADO

No tiene sentido medir ni el **diámetro aparente** y ni la **sección equivalente** de un hilado debido a la compresibilidad e irregularidad que generalmente tienen estos materiales. Es más práctico por tanto determinar **el peso de una dada longitud de hilado** o "**densidad lineal**" (*sistema directo*) o **la longitud de una dada masa de hilado** (*sistema indirecto*). Los valores que se obtienen se denominan entonces "título", "cuenta" o "número" del hilado. Existirá una relación directa entre los valores de las densidades lineales y los diámetros y secciones aparentes de varios hilados **sólo cuando**: **1)** las fibras y/o filamentos que componen dichos hilados sean de la misma naturaleza, finura, rizo, etc., **2)** los hilados hayan sido producidos por el mismo sistema de hilatura, **3)** los hilados tengan aproximadamente la misma cantidad de fibras por sección, **4)** los hilados tengan insertadas la misma cantidad de torsiones y **5)** cuando los hilados tengan similar regularidad. Un hilado estará mejor definido cuando, además del **título**, se conozca la **cantidad de torsiones por unidad de longitud** que tiene insertadas o su **índice de torsión** (α ò k , según el caso) (ver Vol. II, Cap. 6, Inserción de torsión)

TABLA 4.12 * DENSIDAD LINEAL DE UN HILADO ("Título", "Número" o "Cuenta")

SISTEMAS DIRECTOS	SISTEMAS INDIRECTOS
TEX (N_{tex}) : gramos por 1000 metros MTEX : mg / 1000 m DTEX : 0,1 g / 1000 m KTEX : kg / 1000 m	NÚMERO INGLÉS (N_e): cantidad de madejas de 840 yardas (768 m) contenidas en una libra (453,5 g). $590,5 / N_e = 1 \text{ TEX}$
Denier (d) : gramos por 9000 metros 1 TEX = 9 Denier, 1 Denier = 0,11 TEX 1 Denier = 1,1 DTEX	NÚMERO MÉTRICO (N_m): metros por gramo ó kilómetros por kilogramo. $1000 / N_m = 1 \text{ TEX}$

El **denier**, muy usado para expresar la densidad lineal de la seda y de las fibras artificiales y sintéticas, se origina justamente en el hecho de que la seda se comercializaba en madejas de hilados multifilamento en los que **cada filamento** de aproximadamente 450 metros pesaba, también aproximadamente, 0,05 gramos. Para simplificar y ajustarse al sistema métrico se multiplicó ambos valores por 20 con lo que la densidad lineal de **un filamento** de seda pasó a ser aproximadamente de 1 denier ($0,05 \text{ g} \times 20 = 1 \text{ gramo}$ y $450 \text{ m} \times 20 = 9000 \text{ metros}$).

El título de un hilo compuesto de varios cabos se calcula con las siguientes expresiones:

$N_{total} = N_1 + N_2 + \dots + N_n / (1 - c)$ para títulos directos y $N_{total} = 1 - c / (1/N_1 + 1/N_2 + \dots + 1/N_n)$ para títulos indirectos, donde **c** es la contracción que sufre el hilado luego de aplicarse **retorsión**.

Habitualmente un hilo de lana formado por varios cabos se designa indicando primero la cantidad de cabos y luego el título, p.ej. 2/ 32 N_m (ò 16 N_m de título equivalente). Para un hilo de algodón formado por varios cabos habitualmente se designa indicando primero el título y luego la cantidad de cabos, p.ej. 24/ 2 N_e (ò 12 N_e de título equivalente).

TABLA 4.13 * FACTORES DE CONVERSION

DE:	A:	Número Inglés	Número Métrico	Denier	Tex	Decitex
Número Inglés (Ne)	-	-	1,69336	5314,87/ Ne	590,54 / Ne	5905,4 / Ne
Número Métrico (Nm)	0,59054	-	-	9000 / Nm	1000 / Nm	10000 / Nm
Denier (Nd)	5314,87 / Nd	9000 / Nd	-	-	0,1111	1,1111
Tex (Ntex)	590,54 / Ntex	1000 / Ntex	9	-	-	10
Decitex (Ndtex)	5905,4 / Ndtex	10000 / Ndtex	0,9	0,9	0,1	-

TABLA 4.14 * ALGUNAS EQUIVALENCIAS ENTRE DIÁMETRO APARENTE EN MICRONES Y DENSIDAD LINEAL EN DECITEX

Diámetro aparente MICRONES	DECITEX				
	LANA	VISCOSA	NYLON 6.6	PES	ACRÍLICO
19	4.0	3.3	3.1	3.9	2.1
20	4.4	3.7	3.6	4.3	2.3
21	4.9	4.1	3.9	4.8	2.6
22	5.3	4.4	4.3	5.2	2.8
23	5.9	4.8	4.7	5.7	2.9
24	6.3	5.1	5.1	6.2	3.1
25	6.9	5.6	5.6	6.8	3.3
26	7.3	6.0	6.1	7.3	3.7
27	7.9	6.4	6.6	7.9	3.9
28	8.4	6.9	7.0	8.4	4.2
29	9.0	7.3	7.4	9.1	4.6
30	9.6	7.7	8.0	9.8	5.0
32	10.8	8.6	9.1	11.1	5.8
P. Esp. prom.	1,34	1,51	1,14	1,38	1,17

La **densidad lineal** en decitex (N_{dtex}) se calcula a partir del **diámetro aparente** en micrones (**d**) con la siguiente fórmula: $(\pi \cdot d^2 / 4) \cdot 1 \times 10^6 \times p. \text{ esp. de la fibra}$ (**d** en cm y el **p. esp.** en g/cm^3). A la inversa, el **diámetro aparente** en micrones se puede calcular a partir del título en decitex. **Estos cálculos suponen un hilado regular con una dada cantidad de torsiones por metro.**

11.3.0- ÍNDICE DE TORSIÓN

Es conveniente establecer una **relación entre el título y las torsiones** de un hilado (ver Sección 460 de este Cap.), de manera de disponer de un **índice de comparación** o **criterio de similitud** entre hilados distintos. El "**índice de torsión**" es un índice empírico que cumple con esa función. Para los hilados de algodón se define un "**índice de torsión**": $\alpha_e = T / \sqrt{N_e}$ (**T** como torsiones

por pulgada y N_e título en número inglés). Para los hilados de lana se acostumbra usar habitualmente: $\alpha_m = T / \sqrt{N_m}$ (T como torsiones por metro y N_m título en número métrico). A α_m se le designa a veces con la letra K . Un índice de torsión métrico sería: $\alpha_t = T / \sqrt{\text{tex}}$ (T como torsiones por metro). Según su uso o aplicación un hilado debe tener un "índice de torsión" apropiado, dependiendo de la longitud de fibra que compone el hilado

TABLA 4.15 * INDICES DE TORSIÓN PARA EL ALGODÓN SEGÚN USO FINAL

FIBRA	TEJIDO PLANO, urdimbre			TEJIDO PLANO, trama			TEJIDO DE PUNTO		
	α_e	α_m	α_t	α_e	α_m	α_t	α_e	α_m	α_t
Corta	4,0-5,0	120-150	3800-4800	3,2-3,8	100-115	3170-3650	-	-	-
Media	3,8-4,5	115-135	3650-4300	3,0-3,5	90-105	2860-3350	2,5-3,0	75-90	2400-2860
Larga	3,4-3,8	100-115	3170-3650	2,5-3,0	75-90	2400-2860	2,2-2,6	65-80	2050-2550

11.3.0- RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

La resistencia a la tracción es, junto con la regularidad, otra de las propiedades importantes de un hilado. Una baja resistencia a la tracción genera excesivas paradas en tejeduría con la consiguiente disminución de productividad. Para hilados hechos con fibras discontinuas del mismo tipo, es decir con, **a)** iguales resistencias a la tracción intrínsecas (σ_f) (ver Vol. 1, *Fibras Textiles, Propiedades Mecánicas*), **b)** iguales índices de fricción y **c)** iguales áreas de contacto interfibrilar (es decir, igual finura y largo de fibra), sus **resistencias a la tracción** (σ_h) dependerán de la intensidad o ángulo de torsión (α) insertada al hilado, de acuerdo a la siguiente función:

$$\sigma_h \cong \sigma_f \cdot \cos^2 \alpha$$

En forma similar, el **módulo tensil de elasticidad** (E_h) y la **extensión % a la rotura** (ε_h) de los hilados hechos con fibras discontinuas dependen, no solo de los módulos y extensiones intrínsecos de las fibras (E_f y ε_f) sino también, del ángulo o intensidad de torsión α :

$$E_h \cong E_f \cdot \cos^2 \alpha ; \quad \varepsilon_h \cong \varepsilon_f \cdot \sec^2 \alpha$$

La resistencia a la tracción a diversas cargas, el % de extensión, la tenacidad y el módulo tensil inicial de un hilado se pueden determinar con dinamómetros digitales. La **curva esfuerzo-deformación del hilado** puede ser trazada automáticamente por el equipo y, por las razones dadas más arriba, va a diferir sustancialmente de la **curva esfuerzo / deformación de las fibras** que componen el hilado. Cuanto mayor la **longitud de la fibra**, para una dada **cantidad de torsión** insertada, mayor será la resistencia a la tracción del hilado. O dicho de otra forma, para lograr una determinada resistencia a la tracción del hilado, se puede insertar menos cantidad de torsiones utilizando fibras de mayor longitud.

11.4.0- RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

La resistencia a la abrasión de un hilado es influida por: **1)** la densidad lineal y el coeficiente de fricción de las fibras que lo componen (*cuanto mayor el coeficiente de fricción menor la resistencia a la abrasión del hilado*), **2)** la orientación de las moléculas poliméricas del material que compone las fibras (*cuanto mayor la orientación, generalmente menor la resistencia a la abrasión*) y, **3)** en el caso de hilados de fibras discontinuas, la cantidad de torsión insertada (*cuanto menor la cantidad de torsión menor la resistencia a la abrasión del hilado*). La resistencia a la abrasión de un hilado se determina en equipos electrónicos que frotran, bajo una carga y velocidad standard, el hilado contra si mismo o contra púas cromadas muy pulimentadas. El número de pasadas antes de la rotura da la medida de la resistencia a la abrasión del hilo (ver figuras 2.40 y 2.41)

11.5.0- RIGIDEZ / FLEXIBILIDAD

La **rigidez** de los hilados o la inversa, su **flexibilidad**, influyen mucho en la “mano”, la “caída” y el “confort” de las telas tejidas con ellos. La **forma** (el largo, la finura, la forma de la sección), el módulo de elasticidad y la densidad lineal de la **fibra** así como el peso específico del material que la compone, son los factores más importante que influyen en la flexibilidad o rigidez del **hilado** que se construya con ellas. Generalmente cuanto más alta la densidad lineal y el módulo, y más bajo el peso específico de las **fibras**, mayor será la rigidez del **hilado**. **A igualdad de densidad lineal** y con la **misma naturaleza química**, los **hilados monofilamentos** son más rígidos que los **multifilamento**. Lo mismo puede decirse para los **hilados de fibras discontinuas monocabo y multicabo**: los primeros son más rígidos que los segundos. La cantidad de torsión insertada también influye: cuanto mayor la cantidad de torsión mayor la rigidez del hilado resultante.

1.6.0- LOS HILADOS FANTASIA

La modificación de algunas condiciones en las operaciones de hilatura permite a veces obtener hilados con efectos fantasía. La intensidad del cardado, p.ej., influye en el aspecto y en el tacto final. Cambios alternados en la alimentación de la carda, y el agregado de materiales diversos adecuadamente elegidos, puede dar como resultado efectos sorprendentes. También, si en los manuales y pasajes, se cambian ecartamientos y velocidad de estirado, se obtienen muchas veces efectos especiales. En este campo el diseñador, en colaboración con el técnico hiladero, puede desarrollar una experimentación muy interesante.

BIBLIOGRAFÍA: “Physical Testing of Textiles”, B.P.Saville, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>

TABLA 4.16
COMPARACION DE LAS PROPIEDADES DE ALGUNOS TIPOS DE HILADOS

PROPIEDAD	METODO DE HILATURA			
	R/S (“continua de anillo”)	O/E rotor	O/E fricción (Dreft)	Parafil (filamento envolvente)
Disposición de las Fibras: en el núcleo en la vaina	paralela y helicoidal helicoidal	poco paralela mas helicoidal más al azar menos helicoidal	poco paralela mas helicoidal más al azar menos helicoidal	paralela sin torsión filamento envolvente
Paralelismo	muy bueno	regular	regular	muy bueno
Compactación	buena	poca	poca	buena
“Mano”	blanda	dura	dura	blanda
Vellosidad	alta	poca	poca	muy poca
Rigidez	baja	alta	alta	baja

TABLA de CONVERSION de TÍTULOS de HILADOS

Denjer	Decitex	Tex	Nm	NUMERDS INGLESES, Ne				LONGITUD	
				Algodón	Lino	Peinado	Carda	Metros/Kg	Yardas/ libra
1	1.1	0.11	9000	5315	14850.00	7974	17442	9 000 000	4464 414
2	2.2	0.22	4500	2657	7425.00	3987	8721	4 500 000	2 232 207
3	3.3	0.33	3000	1772	4950.00	2658	5814	3 000 000	1 486138
4	4.4	0.44	2250	1329	3713.00	1993.5	4360.5	2 250 000	1116104
5	5.6	0.56	1800	1063	2970.00	1594.8	3488.4	1 800 000	892 883
6	6.7	0.67	1500	885.80	2475.00	1329	2907	1 500 000	744 069
7	7.8	0.78	1286	759.40	2121.90	1139.40	2492.3	1 288 000	637915
8	8.9	0.89	1125	664.40	1856.30	996.75	2180.3	1 125000	558 052
9	10	1	1000	590.55	1650.00	886	1938	1 000 000	496 046
10	11.1	1.11	900	531.50	1485.00	797.4	1744.2	900 000	446 441
15	16.7	1.67	600	354.33	990.00	531.6	1162.8	600 000	297 628
20	22.2	2.22	450	265.75	742.50	398.7	872.1	450 000	223 221
23	25.6	2.56	391	230.91	645.15	346.43	757.76	391 300	194103
25	27.8	2.78	360	212.6	594.00	316.96	697.68	360 000	178577
30	33.3	3.33	300	177.17	495.00	265.8	581.4	300 000	148814
35	38.9	3.89	257	151.77	424.05	227.7	498.07	257 000	127 464
40	44.4	4.44	225	132.87	371.25	199.35	436.05	225 000	111610
45	50	5	200	118.11	330.00	177.8	387.8	200 000	99 209
50	55.6	5.56	180	106.30	297.00	159.48	348.84	180 000	89 288
60	66.7	6.67	150	88.58	247.50	132.9	290.7	150000	74407
68	75.5	7.55	132	77.95	219.45	116.95	255.82	132 000	65 478
70	77.8	7.78	129	76.18	212.85	114.29	250	129 000	63 990
75	83.3	8.33	120	70.87	198.00	106.32	232.56	120 000	59 526
90	100	10	100	59.06	165.00	88.6	193.8	100 000	49 605
100	111	11.11	90	53.15	148.50	79.74	174.42	90 000	44 644
120	133	13.33	75	44.29	123.75	66.45	145.35	75 000	37 203
125	139	13.88	72	42.52	118.80	63.79	139.54	72 000	35715
135	150	15	66.7	39.39	110.06	59.1	129.26	66 700	33 088
150	167	16.67	60	35.43	99.00	53.16	116.28	60 000	29 763
180	200	20	50	29.52	82.50	44.3	96.9	50 000	24 802
200	222	22.22	45	26.57	74.25	39.87	87.21	45 000	22 322
210	233	23.33	42.9	25.33	70.79	38.01	63.14	42 800	21280
250	278	27.78	36	21.26	59.40	31.9	69.77	36 000	17858
270	300	30	33.3	19.80	54.95	29.5	64.54	33 300	16518
300	333	33.33	30	17.72	49.50	26.58	58.14	30 000	14881
360	400	40	25	14.76	41.25	22.15	48.45	25 000	12401
400	444	44.44	22.5	13.29	37.13	19.94	43.61	22 500	11161
420	467	46.67	21.4	12.64	35.31	18.96	41.47	21400	10615
450	500	50	20	11.81	33.00	17.72	38.76	20 000	9921
500	556	55.56	18	10.63	29.70	15.95	34.88	18000	8929
540	600	60	16.7	9.86	27.6	14.8	32.36	16700	8284

TABLA de CONVERSION de TÍTULOS de HILADOS

Den;er	Decitex	Tex	Nm	NUMERDS INGLESES, Ne				LONGITUD	
				Algodón	Lino	Peinado	Carda	Metros/Kg	Yardas/ libra
600	667	66,67	15	8.86	24.75	13.29	29.07	15000	7441
625	.694	69.38	14.4	8.50	23,78	12,76	27.91	14400	7143
630	700	70	14,3	8.44	23.60	12.7	27,71	14300	7093
690	767	76,67	13	7,68	21.45	11.52	25.19	13000	6449
720	800	80	12,5	7.38	20.63	11.08	24,23	12500	6201
800	889	88.89	11.3.	6,67	18,65	10.01	21.90	11300	5581
840	933	93,32	10.7	6,32	17,66	9.48	20.74	10700	5313
900	1000	100	10	5,91	16.5	8.86	19.38	10000	4960
1000	1111	111.11	9	5.31	14,85	7,97	17.44	9000	4484
1100	1222	122.22	8.18	4.83	13.50	7.35	15.85	8180	4058
1200	1333	133.33	7.5	4.43	12.38	6.8	14.54	7500	3720
1250	1389	138.89	7.2	4.25	11.83	6.38	13.95	7200	3572
1260	1400	140	7.14	4.22	11.78	6.33	13.84	7140	3542
1500	1667	166.67	6	3.54	9.9	5.32	11.63	6000	2976
1650	1833	183.32	5.45	3.22	8.99	4.83	10.56	5450	2703
1680	1867	186.65	5.36	3.17	8.84	4.75	10.39	5360	2659
2000	2222	222.22	4.5	2.66	7.43	3.99	8.72	4800	2232
2200	2444	244.44	4.09	2.42	6.75	3.62	7.93	4090	2029
2500	2778	277.78	3.6	2.13	5.94	3.19	6.98	3600	1786
3000	3333	333.33	3	1.77	4.95	2.68	5.81	3000	1488
3300	3667	366.66	2.73	1.61	4.5	2.42	5.29	2730	1339
4000	4444	444.44	2.25	1.30	3.71	1.99	4.36	2250	1116
5000	5556	555.56	1.8	1.06	2.97	1.59	3.49	1800	893
6000	6667	666.67	1.5	0.89	2.48	1.33	2.91	1500	744
7000	m8	777.78	1.29	0.76	2.13	1.14	2.5	1290	640
7500	8333	833.33	1.2	0.71	1.98	1.08	2.33	1200	595
8000	8889	888.89	1.13	0.67	1.86	1	2.19	1130	558
9000	10000	1000'	1	0.59	1.65	0.89	1.94	1000	496
10000	11111	1111.11	0.9	0.53	1.49	0.8	1.74	900	446
12500	13889	1388.89	0.7	0.41	1.16	0.62	1.36	700	357
15000	16667	1666.67	0.6	0.35	0.99	0.53	1.16	600	298
18000	20000	2000	0.5	0.30	0.83	0.44	0.97	500	248
22500	25000	2500	0.40	0.230	0.66	0.350	0.77	400	198
25740	28600	2860	0.35	0.210	0.58	0.310	0.68	350	173
30015	33350	3335	0.30	0.180	0.49	0.260	0.58	300	149
36000	40000	4000	0.25	0.140	0.41	0.220	0.48	250	124
45000	50000	5000	0.20	0.120	0.33	0.180	0.39	200	99
51435	57150	5715	0.17	0.100	0.29	0.150	0.34	175	87
60030	66700	6670	0.15	0.089	0.25	0.130	0.29	150	74
90000	100000	10000	0.10	0.059	0.16	0.089	0.19	100	50

UN PROVEEDOR DE HILADO DEBE SUMINISTRAR LA SIGUIENTE INFORMACIÓN BÁSICA A SUS CLIENTES:

- 1- Qué fibras componen el hilado y en que porcentaje.
- 2- Por qué método fue producido (p. ej. R/S u O/E, cardado, peinado)
- 3- Título (tex, Nm, Ne, etc)
- 4- Torsiones por metro y /o índice de torsión (α ó K)
- 5- Tenacidad en Newtons por tex, en Rkm, u otras unidades
- 6- Regularidad en U% o CV%

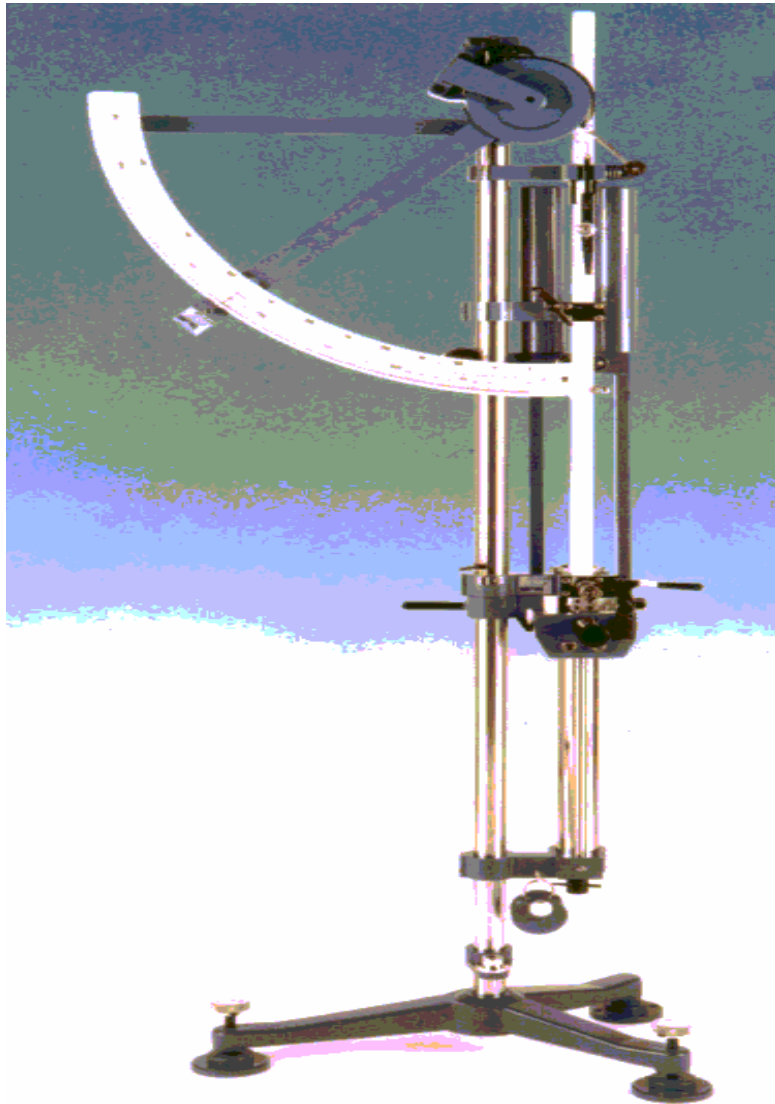


Figura 4.162

Dinamómetro Shirley hidráulico para medir resistencia a la tracción en hilados

12.0.0- PREGUNTAS Y EJERCICIOS DE EVALUACIÓN (algunas con sus respuestas)

1-¿Qué condiciones debe cumplir una fibra textil?

a) las de todas las fibras, a saber: ser un cuerpo sólido, macroscópicamente homogéneo, relativamente flexible, con alta relación de las dimensiones longitudinales a las transversales y con dimensiones transversales del orden de micras a milímetros.

b) Que sea hilable, a saber: que tenga relativamente alta resistencia a la tracción y un alto índice de fricción superficial (y por tanto, interfibrilar).

2-¿Qué diferencias hay entre fibras artificiales y sintéticas? ¿Cuáles conoce?¿Cómo se obtienen? ¿En qué año aparecen en el mercado?

a) las fibras artificiales se obtienen partiendo de polímeros naturales, como p. ej. la celulosa de la madera, que es, según diferentes procesos químicos, modificada o regenerada (ej. rayón diacetato, rayón triacetato, rayón viscosa). Comienzan a producirse alrededor de 1860 con el estímulo del crecimiento de la población mundial y la escasez de algodón en Europa.

b) Las fibras sintéticas se obtienen a partir de polímeros producidos por el hombre utilizando monómeros sencillos, obtenidos a su vez y en general, de subproductos de la industria petroquímica. En 1939 se obtiene la primera fibra sintética: el "Nylon" de la firma Du Pont. Luego la siguen el poliéster, las poliacrílicas, las poliolefínicas (polietileno y polipropileno), las poliuretánicas, etc., etc.

3-¿Qué se entiende por "diámetro aparente" de una fibra? ¿Qué se entiende por "finura" ? ¿Qué incidencia tiene el diámetro aparente en las propiedades de un hilado hecho de fibras discontinuas y porqué?

a) diámetro "aparente" es el diámetro de la sección circular *equivalente* a la "sección *real*". En general se expresa en micrones.

b) es la apreciación subjetiva del diámetro aparente de la fibra.

c) el *diámetro aparente* junto con el *largo* determinan el *área externa* de la fibra. El *área externa* de cada fibra multiplicada por la *cantidad de fibras presentes* será igual al *área interfibrilar total*. La *fricción interfibrilar*, muy importante en la hilatura de fibras discontinuas, es función del *área interfibrilar*.

d) conocido el *diámetro aparente promedio* de las fibras de nuestra materia prima, si además conocemos el "*límite de hilabilidad*" correspondiente a ese tipo de la fibra, podremos estimar el *título* del hilado más delgado que nos es posible obtener, con buena regularidad y resistencia a la tracción.

e) el *diámetro aparente promedio* nos da también una idea de la "suavidad" de los artículos textiles que se pueden elaborar con ese tipo de fibra. Las fibras gruesas son más rígidas y "pinchan"

f) conocer el *diámetro aparente promedio* de las fibras que componen la materia prima también nos orienta para seleccionar el sistema de hilatura a emplear. P.ej. con fibras muy gruesas, en general, no se hila en sistema peinado.

4-¿Cuáles son las operaciones básicas del proceso de hilatura? Mencione y describa brevemente los elementos y/o máquinas que se han utilizado para hilar a lo largo de la Historia.

a) paralelizado, estirado, inserción de torsión y bobinado

b) huso, torno-huso, rueca con aletas, pares de rodillos estiradores de Lewis y Paul, "spinning-Jenny" de R. Hargrives, "water frame" de R.Arkwright, "Mule" de S. Crompton, máquina selfactina, continua de anillo (R/S), "open end" (O/E) de rotor.

5-¿Cómo influyen las propiedades morfológicas de las fibras textiles en las propiedades de los hilados?

FINURA:

Para una dada cantidad de fibras por sección (*siempre por arriba del "límite de hilabilidad"*), será más grueso el hilado con fibras más gruesas y más fino aquel con fibras más finas. Serán diferentes también los títulos de los hilados pues una fibra gruesa pesa más que una fibra fina.

Por otra parte, para una dada cantidad de fibras por sección - *siempre por arriba del "límite de hilabilidad"* - la regularidad del hilado se verá afectada por el CV% de la finura de las fibras: si el CV % es alto, es decir si hay mucha variación entre los diámetros aparentes de las fibras, la regularidad del hilado será mala.

La resistencia a la tracción de los hilados de fibras discontinuas dependerá de: 1) la cantidad de fibras por sección, 2) de la fricción interfibrilar que es función de la finura, el largo y la rugosidad de las fibras y 3) de las torsiones insertadas (T/m).

LARGO:

Para una dada cantidad de fibras por sección (*siempre por arriba del "límite de hilabilidad"*), para obtener una misma resistencia a la tracción, los hilados de fibras cortas requieren más torsiones (T/m) que los de fibras largas.

Con fibras largas se pueden obtener hilados más delgados que con fibras cortas pues, las fibras más largas posibilitan que haya mayor área interfibrilar y por tanto mayor posibilidad de fricción entre ellas y mejor resistencia a la tracción. Por tanto con fibras largas el "límite de hilabilidad" puede ser menor y se pueden hacer hilados más delgados.

Si el CV% del largo de las fibras es muy alto, es decir hay mucha variación del largo en el conjunto de fibras con que vamos a hacer el hilado, las fibras más cortas van a actuar como fibras flotantes incontroladas en la operación de estirado y, por tanto, van a generar un hilado irregular. Para atenuar este inconveniente se debe en general, introducir una operación de peinado en el proceso de hilatura.

FORMA DE LA SECCIÓN:

Va a influir en el empaquetado de las fibras y mejorar la resistencia a la tracción del hilado.

RUGOSIDAD SUPERFICIAL:

La rugosidad superficial de las fibras va a influir en la fricción interfibrilar y por tanto en la resistencia a la tracción del hilado. Las torsiones insertadas al aproximar más unas fibras con otras, incrementa la fricción interfibrilar y por tanto la resistencia a la tracción

RIZO:

El rizo solo va a influir en la voluminosidad del hilado pero dependiendo de la cantidad de torsiones insertadas: si las T/m son muchas, la voluminosidad del hilado disminuye aunque las fibras tengan rizo.

6-¿A qué causas se debe la irregularidad de los hilados? ¿Qué efectos produce un hilado irregular en el aspecto de un tejido?

a) *Causas estadísticas:* diferencias en la cantidad de fibras por sección en cada sección del hilado sumado a las diferencias de diámetro aparente de cada fibra. La probabilidad de que en cada sección del hilado haya siempre la misma cantidad de fibras, y todas ellas del mismo diámetro aparente, es muy baja. Todo hilado tendrá entonces una irregularidad límite que no se podrá mejorar por mejor que se trabaje.

b) *Causas inherentes a la materia prima:* materia prima de mala calidad p.ej. muy sucia, restos vegetales, "neps", etc., o como en el caso del algodón, la presencia de muchas fibras "inmaduras, producirá un hilado irregular.

c) *Causas inherentes al proceso de hilatura:* en una dada materia prima, la presencia de muchas fibras más cortas que la media, producirán irregularidad "de masa" en el hilado. Estas fibras más cortas que el "ecartamiento" de los pares de rodillos de los trenes de estiraje, se comportarán como "fibras flotantes". Estas "fibras flotantes" no serán "controladas" por los pares de rodillos y formarán "paquetes". La alternancia de esos "paquetes" dan lugar a zonas gruesas y finas y, por tanto, a irregularidad de "masa" o de "sección del hilado. Cuando se quiere obtener buena regularidad, especialmente para hilados delgados, se debe necesariamente, retirar las fibras cortas "flotantes" con la operación de "peinado".

d) Las telas hechas con hilados irregulares presentarán una variedad de defectos, pero especialmente tendrán muy mal aspecto.

7-¿En qué consiste y cuál es la finalidad de la operación de peinado en el proceso de hilatura?

Mejorar la regularidad del hilado sacando a) las fibras cortas flotantes, b) suciedad, "botones", restos vegetales, etc. y, c) mejorando el paralelizado de las fibras en la mecha. De esta forma se mejora la regularidad del hilado.

8-Formo una madeja de hilado de lana haciendo girar 120 vueltas completas un aspe de 40 cm de diámetro. La madeja resultante pesa 4,5 g. ¿Cuál es el título del hilado en tex? ¿Y en Nm?

9- Se desea producir una tela liviana, de lana, para traje de hombre. a) Enumere todas las etapas del proceso desde la materia prima (*lana sucia*), hasta el hilado (*el proceso puede involucrar una o varias empresas textiles*). b) Indique, brevemente y en forma general, cómo se realiza cada operación del proceso y cuál es la finalidad de la misma. c) Señale que controles físicos se deberían realizar sobre la materia prima de hilandería para obtener un artículo de alta calidad. Explique brevemente porqué.

10-Un hilado de algodón de título 25 Ne tiene un índice de torsión $\alpha = 1.5$ ¿Cuántas torsiones por metro tiene dicho hilado? ¿Para qué uso sería adecuado?

11-En una hilandería "open end", ¿qué tipo y calidad de hilado puedo producir? ¿Qué tipo y calidad de materia prima debo utilizar? ¿Cuáles son las operaciones o etapas del proceso de hilatura?

12-¿Cómo influye la cantidad de torsión insertada (T/m) y el índice de fricción superficial de las fibras textiles en la calidad final del hilado y en el proceso de hilatura?

13-Qué métodos de medición de la "finura" y del largo de las fibras textiles conoce? ¿Qué diferencia conceptual hay entre "finura" y "densidad lineal" de una fibra?

14-¿De qué factores depende la resistencia a la tracción de un hilado? En cada caso explique porqué o en qué forma dicho factor influye en la resistencia del hilado.

15-Dos hilados de algodón, ambos de Ne = 40, son retorcidos para elaborar un hilo a dos cabos. Al ser retorcido el hilo sufre una contracción del 5%. ¿Cómo expresaría el título de este hilo? ¿Qué título final equivalente tendría este hilo?

16-¿Qué parámetros consideraría para evaluar la calidad de la materia prima en un lavadero y peinadura de lana? ¿Qué orden de importancia les asignaría? ¿Por qué?

17-Explique brevemente algunos de los ensayos objetivos que se utilizan para determinar los parámetros que haya mencionado en la respuesta a la pregunta anterior.

18-Mencione brevemente las diferencias más importantes entre los sistemas de hilatura cardado, peinado y semipeinado en lo que tiene que ver con la materia prima, el proceso y los productos resultantes.

19-¿De qué factores depende la resistencia a la tracción de un hilado? En cada caso explique porqué o en qué forma dicho factor influye en la resistencia del hilado.

Estructura Molecular de la fibra : 1- Polímero lineal de alto peso Molecular, 2- Enlaces intramoleculares de alta energía, 3- Alto orden molecular o alta cristalinidad, 4- Distribución y localización del orden molecular, 5- Orientación molecular a lo largo del eje de la fibra. *Forma de la fibra*: 6- Largo y su CV%, 7- Finura y su CV%, 8- Sección. 9- Cantidad y forma de rizo, 10- rugosidad superficial. *Hilado*: 11- Título, 12- Cantidad de torsión, 13- Intensidad de torsión, 14- Cantidad de fibras por sección, 15- Regularidad. *Condiciones ambientales*: humedad Relativa %, 17- Temperatura

20-Dos hilados de algodón, ambos de Ne = 40, son retorcidos para elaborar un hilo a dos cabos. Al ser retorcido el hilo sufre una contracción del 5%. ¿Cómo expresaría el título de este hilo? ¿Qué título final equivalente tendría este hilo?

$$1-0,05 / (1/40 + 1/40) = 19$$

El título se expresaría como Ne = 40/2 y el título equivalente sería 19/1

21-¿Qué diferencias constructivas más importantes puede señalar entre una carda algodонера y una carda lanera? ¿Y entre una carda lanera de sistema peinado y una de sistema cardado? Explique las razones por las que estas cardas son diferentes.

22-En un aspe se forma una madeja de hilo de 85 vueltas. El perímetro del aspe es de 1,428 metros. La madeja pesa finalmente 2,75 gramos. Hallar el "título" o "número" del hilo en tex.

23-Una "canilla" de hilado de lana peinada de Nm = 61 pesa 46 gramos. Si el tubo de la "canilla" pesa 4 gramos, calcular los metros de hilado que están enrollados en ella.

24- Calcular la masa de 2000 metros de un hilo de algodón de $N_e = 80$.

25- Hallar el título de un hilo a dos cabos, de lana peinada. Uno de los cabos es de $N_m = 40$ y el otro de $N_m = 50$. Si los cabos fueran de $N_m = 50$ cada uno, cuál sería el título final? ¿Cómo expresaría el resultado?

26- Un hilo a dos cabos está formado por un cabo de rayon viscosa de $N_d = 120$ y por otro de algodón de $N_e = 30$. Al retorcer los dos cabos, el hilo resultante sufre una contracción del 4%. ¿Cuál será el título del hilado final, expresado en título algodonero inglés?

27- ¿Cómo influyen los distintos procesos de hilatura en la regularidad, la voluminosidad, la resistencia a la tracción y la resistencia a la abrasión de los hilados resultantes?

HILATURA MANUAL:

En general, se obtienen hilados gruesos, voluminosos e irregulares, según la habilidad del hiladero. La resistencia a la tracción dependerá de la cantidad de torsiones insertadas.

HILATURA R/S:

La regularidad dependerá de la materia prima (p.ej. CV% del largo de fibras): La voluminosidad y la resistencia a la tracción dependerán de la cantidad de torsiones insertadas. La resistencia a la abrasión es baja en comparación con los hilados O/E.

HILATURA O/E:

Son hilados de buena regularidad, de títulos medios a gruesos, de buena voluminosidad. En comparación con los hilados R/S son de baja resistencia a la tracción y buena resistencia a la abrasión.

HILATURA EN SELFFACTINA:

Son hilados de muy buena regularidad (*en el proceso se estira a la vez que se inserta torsión, lo que autoregula el diámetro aparente del hilado*). La voluminosidad y la resistencia a la tracción dependerán fundamentalmente de las torsiones insertadas. En comparación con los hilados O/E, la resistencia a la abrasión es menor.

28- Describa las características de un hilado con la designación *150/ 70/ T* y otro con la designación *100/150/ 80*. ¿En que los usaría?

El tipo de designación nos dice que es un hilado multifilamento, artificial o sintético. En el primer caso 150 es el título en deniers, 70 la cantidad de monofilamentos por sección y T significa que el hilado no ha recibido torsión y que los monofilamentos han sido texturizados (*que se les insertó rizo artificial*) y están enredados entre sí (*"tangled" en ingles, de ahí la T*). Este tipo de hilado podría usarse, p.ej., como trama de telas para cortinas.

En el segundo caso podemos decir que el título en deniers es 100 y que la cantidad de monofilamentos es 150. Por tanto 100 deniers divididos 150 nos da 0,67 aprox. deniers para cada filamento. Esto indica que se trata de microfilamentos pues así se consideran aquellos filamentos con un título menor a 1 denier. Podríamos usarlos, p.ej. en telas "piel de durazno" por las propiedades especiales de tacto, impermeabilidad, etc. que tienen los microfilamentos.

29- Dos hilados de algodón de título 30 Ne y 150 T/m (Z) se retuercen a 200 RT/m (S). ¿Cuál sería la designación del hilo de dos cabos obtenido? ¿Cuál sería el título de un hilo mono cabo equivalente? ¿Con cuántas torsiones y de qué tipo queda cada cabo? (*Se considera despreciable la contracción que sufre el hilo como consecuencia de la retorsión*).

Designación: Ne 30/2, Título equivalente: Ne 15, Cada cabo queda con 50 T/m (S)

30- Un hilado de lana tiene un título de 9 Nm y 90 T/m (Z). ¿Cuál es su índice de torsión? ¿Para qué usos sería apto este hilado? ¿Cuánto pesan 100 metros de este hilado?

Índice de torsión: $K = 90 / \sqrt{9} = 90/3 = 30$

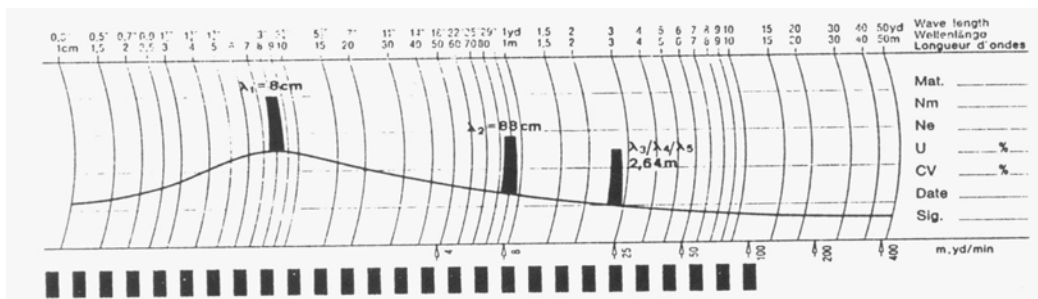
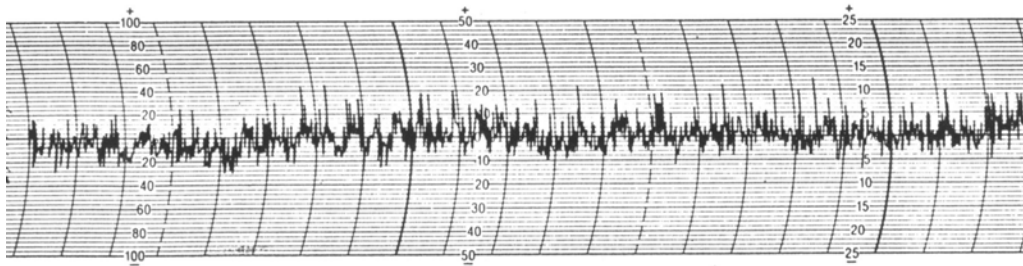
Este hilado se puede usar para trama de tejido plano y para tejido de punto;

El título métrico viene dado por la cantidad de metros que entran en un gramo de hilado,

Por tanto para un hilado de Nm 9, 9 metros pesan 1 gramo y 100 metros pesarán $100/9 = 11,11$ gramos

CAPITULO V

IRREGULARIDAD DE MASA EN HILADOS. SU MEDICIÓN Y CONTROL



CONTENIDO	PAGINA
1. 0. 0- LA IRREGULARIDAD DE MASA.....	103
1. 1. 0- Distribución al azar perfecta.....	103
1. 2. 0- La irregularidad límite y el índice de irregularidad	104
1. 3. 0- Aumento de la irregularidad a lo largo del proceso de hilatura.....	107
1. 4. 0- Estadísticas USTER del índice de irregularidad	109
1. 5. 0- Irregularidad resultante luego del “reunido” o “doblado”.....	110
2. 0. 0- LA MEDICIÓN DE LA IRREGULARIDAD DE MASA.....	111
2. 1. 0- MÉTODOS SUBJETIVOS. Filoscopios.....	111
2. 2. 0- MÉTODOS OBJETIVOS. Regularímetros electrónicos.....	112
2. 2. 1- Irregularidad lineal (U%) y cuadrática (CV%). Diagrama e Histograma.....	113
2.2.2- Diagrama en modo operativo “standard” o “Normal Test”	114
2. 2. 3- Diagrama en modo operativo “Inert Test”.....	116
2. 2. 4- Diagrama en modo operativo “L-Test”.....	117
2. 2. 5- Curva de Variación del Largo de Corte (CVLC).....	119
2. 2. 6- CVLC obtenida con regularímetros USTER II y III.....	120
2. 2. 7- CVLC e identificación de los equipos causantes de irregularidad.....	121
2. 2. 8- CVLC de un hilado ideal.....	122
2. 2. 9- CVLC y las variaciones de masa periódicas.....	123
2.2.10- Las variaciones de masa periódicas y el espectrograma.....	124
2.2.11- Espectrograma ideal y espectrograma normal.....	125
2.2.12- Espectrograma y largo de fibra.....	126
2.2.13- Espectrograma con “chimeneas”.....	127
2.2.14- Espectrograma con “colinas”.....	130
2.2.15- Aspecto de las telas tejidas con hilados con variaciones de masa periódicas.....	131
2.2.16- El índice de desviación DR.....	131
3. 0. 0- IMPERFECCIONES DEL HILADO.....	134
3. 1. 0- Registro de puntos finos, gruesos y “neps”.....	135
3. 2. 0- Clasificación de las imperfecciones. Equipos “Classimat” y “Classifault”.....	136
3. 3. 0- Evaluación de la pilosidad.....	136
4. 0. 0- BIBLIOGRAFÍA.....	137
5. 0. 0- PREGUNTAS Y EJERCICIOS DE EVALUACION.....	138

1.0.0- LA IRREGULARIDAD DE MASA

La “**irregularidad de masa**” o variación de masa por unidad de longitud en cintas, mechas o hilados elaborados con *fibras discontinuas* es **inevitable** (si bien de puede controlar y minimizar). Esta irregularidad es debida, fundamentalmente, a:

- 1) **la variación de las propiedades de las fibras:** sección aparente, peso específico, rizo, largo y su CV% (especialmente en el caso de las fibras naturales), etc.
- 2) **el proceso de hilatura** (mezclado, limpieza y especialmente el *estirado*) que por mejor que se realice, no puede lograr una distribución perfecta de las fibras a lo largo del hilado, en cada una de las infinitas secciones del mismo, que se podrían considerar.

La “**irregularidad de masa**” de un hilado genera importantes pérdidas económicas debido a:

- 1) **paros por roturas del hilado en hilandería y en tejeduría.**
Esto implica mayor mano de obra para atender a las máquinas y la introducción de nuevos defectos por nudos o empalmes. Las máquinas de tejer modernas, cada vez más veloces, hacen necesario un control riguroso de la irregularidad. La tejeduría es en general el mejor control de calidad de la hilandería.
- 2) **producción de telas con aspecto desparejo y de mala calidad.**
Las zonas más delgadas admiten más torsión y en consecuencia reflejan en forma diferente la luz incidente. Además, si son teñidas absorben menos colorante.

La “**irregularidad de masa**” en hilados elaborados con **filamentos** es mucho menor que para los hilados elaborados con **fibras discontinuas**, pero debe también controlarse.

1.1.0- Distribución al azar perfecta.

Si al barajar un naípe, este quedara ordenado por palo y por valores, tendríamos una distribución que podríamos llamar “**perfecta**”, pero esa partida del juego no sería ya un juego de azar. La probabilidad de que se produzca tal evento es, sin embargo, muy baja, por no decir nula. Lo que pretendemos al barajar el naípe, es que este quede con una “**distribución al azar perfecta**”, es decir que cada una de las cartas tenga la misma probabilidad de aparecer al “cortar” el mazo.

Supongamos ahora un trozo de mecha con **N** fibras de igual sección, largo y densidad lineal. ¡**Error! Marcador no definido.** La probabilidad de que, luego de sucesivos **reunidos** y **estirados**, se logre una mecha con **el mismo** número **n** de fibras por sección, **cualquiera sea la sección considerada**, es también tan baja que puede considerarse nula. En este caso, igualmente al del naípe, lo más que podemos pretender es una “**distribución al azar perfecta**” en la que **cualquiera** de las **N** fibras de la porción de mecha considerada, tenga la misma probabilidad de aparecer entre un número **n** promedio de fibras por sección, cualquiera sea la sección de mecha considerada.

Probabilidad de que una fibra cualquiera atraviese una sección cualquiera. (Suponemos 1 m de mecha o hilado)	
Mecha de carda de algodón: $N = 1.500.000$ aprox. $n = 40.000$ aprox. $n/N = 40.000/1.500.000 = 2,6 \times 10^{-2}$	Hilado de algodón: $N = 2000$ aprox. $n = 100$ (en el límite de hilabilidad) $n/N = 100/2000 = 5,0 \times 10^{-2}$

En este caso, ¿cuál será la “**irregularidad de masa**” de la cinta, mecha o hilado si consideramos una “**distribución al azar perfecta**” de sus fibras? Es decir, ¿cuál será la relación entre n y su **coeficiente de variación** (CV)?

1.2.0- La irregularidad límite y el índice de irregularidad.

Consideremos una trozo de mecha compuesta de N fibras en total, todas de igual largo, sección y densidad lineal, y con un promedio de fibras por **sección perpendicular al eje de la mecha** igual a n .

La **probabilidad** p de que una dada fibra **cualquiera** atraviese **una dada sección** será $p = n/N$. La **probabilidad** de que no la atraviese será $Q = 1 - p$. La **probabilidad** de que una **cualquiera** de las N fibras de la mecha atraviese **una sección cualquiera** de la mecha será $N/N = 1$, es decir 100 %.

La **probabilidad** de que alguna de las $N, N-1, N-2, \dots, 2, 1$ fibras atraviese la sección se corresponde con los términos sucesivos de una expansión binomial. Pero si, por ej., p es muy pequeña, estaremos en el caso de una **distribución de Poisson**. Este es justamente el caso para una cinta, mecha o hilado.

DISTRIBUCIÓN DE POISSON
$Pr(x=r) = e^{-m}(m^r/r!)$
x = cantidad de eventos por unidad de tiempo o espacio
r = cantidad de eventos por unidad de tiempo o espacio, que realmente ocurren.
m = factor (cuanto mayor sea este factor más se acercará a una distribución normal)
1) los eventos ocurren al azar en el espacio o en el tiempo ,
2) no hay teóricamente límite a la cantidad de eventos que pueden ocurrir en una unidad (de tiempo o espacio) o en un ensayo o medición.
3) cada evento ocurre independientemente y uno por vez .

Para una distribución "poissoniana", la **varianza** s^2 es igual a la **media** x_m

$$s^2 = x_m, \quad s = \sqrt{x_m}$$

$$CV = s/x_m = \sqrt{x_m}/x_m = 1/\sqrt{x_m}$$

Como en nuestro caso $x_m = n$ (el promedio de fibras por sección), tendremos que:

$$CV\% = 100 / \sqrt{n} = 100 / \sqrt{T_{hilado} / T_{fibra}} = 100 \cdot \sqrt{T_{fibra} / T_{hilado}} \text{ (donde } T \text{ es el título en tex)}$$

Esta expresión corresponde a lo que se conoce como **irregularidad límite**. Se demuestra que ésta expresión se aplica aún cuando las fibras de la mecha o el hilado, sean de distinto largo, siempre y

cuando las secciones transversales consideradas no estén separadas por una distancia mayor que la longitud de la fibra más larga.

Pero, como las mediciones se hacen a veces a distancias menores al largo de la fibra más larga, y como existen variaciones de la sección de las fibras o sus densidades lineales, se han calculado correcciones para la expresión de la **irregularidad límite**:

$$\text{Algodón: } CV\% = 106/\sqrt{n} ; \text{ Art. y Sint.: } CV\% = 102/\sqrt{n} ; \text{ Lana: } CV\% = 112/\sqrt{n}$$

Quiere decir que, en la práctica, por mejor que trabajemos en la hilandería, **nunca** podremos mejorar la **irregularidad límite**. Siempre la **irregularidad real** será mayor o a lo sumo, igual. Se define entonces un **índice de irregularidad o índice de Momfort** (adimensional):

$$I = CV_{real}/CV_{límite} = (CV_{real}/100) \cdot \sqrt{T_{hilado}/T_{fibra}}$$

Una expresión más exacta para la **lana** sería la siguiente: $CV_{lim} = (100/\sqrt{n}) \cdot \sqrt{1 + 0.0004 CV^2 d}$
 Como $n = T_{hilado}/T_{fibra}$, si consideramos aproximadamente $CV_d = 25\%$ obtendremos para el **índice de irregularidad**, la expresión simplificada: $I = (0.279 \cdot CV_{real} \cdot \sqrt{T_{hilado}}) / d_f$, donde el título del hilado debe ser expresado en tex y d_f , el diámetro aparente de la fibra, en micrones. También podemos calcular el título de la fibra en tex, con la expresión: $T_{fibra} = 0.00103 d_f^2$ en donde d_f viene dado en micrones.

Ejemplo de cálculo del Índice de Irregularidad:

Un hilado de algodón puro, cardado, título 20 tex ($N_m 50$), CV = 18.2 %, diámetro aparente de las fibras: 3.7 micrones (146 mtex). ¿Cuál es su índice de irregularidad?

Solución: Número de fibras por sección: $n = 20/0.146 = 137$; $CV_{\text{límite}} = 106/\sqrt{137} = 9.06 \%$; Índice de Irregularidad: $18.2 / 9.06 = 2.01$

$CV_{\text{límite}}$ para un hilado hecho por mezcla íntima de fibras de distinta naturaleza

Se considera el hilado de mezcla como si fuese un hilado multicabo, cada cabo constituido por una de las fibras de la mezcla: $T_{1,2,\dots,n} = T_h \cdot c / 100$ ($T_{1,2,\dots,n}$ - título de cada cabo 1,2,..n, en tex; T_h - título del hilado en tex, c - % de cada fibra en la mezcla íntima).

Se calcula para cada cabo su $CV_{\text{límite}}$ de acuerdo a la fórmula: $CV_{\text{límite}} = 100 \sqrt{T_{\text{fibra}} / T_{\text{cabo}}}$
El $CV_{\text{límite}}$ del hilado de mezcla se obtiene con la siguiente expresión:

$$CV_{\text{límite}} = \frac{\sqrt{(CV_{\text{límite}1} \cdot T_1)^2 + (CV_{\text{límite}2} \cdot T_2)^2 + \dots + (CV_{\text{límite}n} \cdot T_n)^2}}{T_h}$$

Ejemplo: Un hilado hecho por mezcla de 45% de lana y 55% de PES tiene un título de 30 N_m (33.3 tex). El diámetro aparente de las fibras de PES es 0.44 tex y el de la lana 0.97 tex. ¿Cuál es la irregularidad límite ($CV_{\text{límite}}$) del hilado?

$$T_{\text{PES}} = T_h \cdot c / 100 = 33.3 \times 55 / 100 = 18.3 \text{ tex}$$

$$T_{\text{lana}} = T_h \cdot c / 100 = 33.3 \times 45 / 100 = 15.0 \text{ tex}$$

$$CV_{\text{limPES}} = 100 \sqrt{T_{\text{fibra}} / T_{\text{cabo}}} = 100 \cdot \sqrt{0.44 / 18.3} = 15.5 \%$$

$$CV_{\text{limLana}} = 100 \sqrt{T_{\text{fibra}} / T_{\text{cabo}}} = 100 \cdot \sqrt{0.97 / 15.0} = 25.4 \%$$

$$CV_{\text{limTotal}} = \left[\sqrt{(CV_{\text{límite}1} \cdot T_1)^2 + (CV_{\text{límite}2} \cdot T_2)^2 + \dots + (CV_{\text{límite}n} \cdot T_n)^2} \right] / T_h$$

$$CV_{\text{limTotal}} = \left[\sqrt{(15.5 \times 18.3)^2 + (25.4 \times 15.0)^2} \right] / 33.3 = 14.3 \%$$

1.3.0- Aumento de la irregularidad a lo largo del proceso de hilatura.

La **irregularidad**, expresada en **CV %** va aumentando a lo largo del proceso de hilatura, a medida que la densidad lineal del material (*cinta, mecha, hilado*) se va haciendo menor, es decir, a medida que disminuye **n**, la cantidad de fibras por sección. En cambio el **índice de irregularidad I** va disminuyendo pues, a medida que el material se hace más delgado el **CV real** se aproxima al **CV límite**.

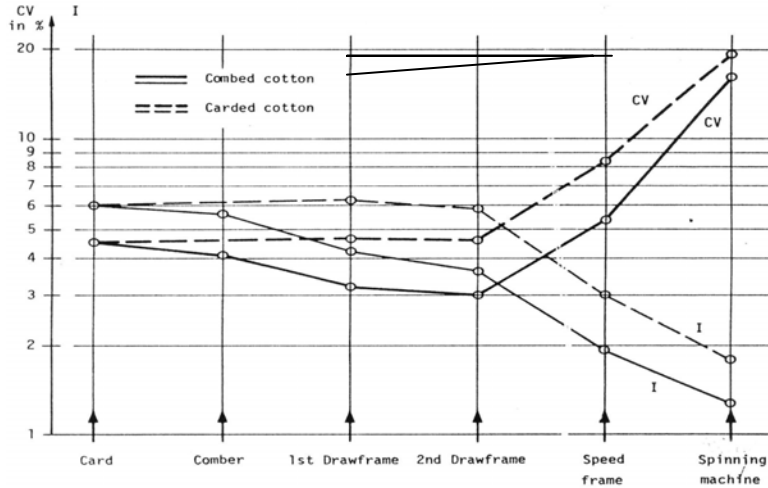


Figura 5.1 (ref.4.1.0)

En las Figuras 5.2 y 5.3 se puede apreciar como el **CV_{lim}** aumenta al disminuir el número de fibras por sección **n**, pues $CV_{lim} = 100 / \sqrt{n}$ y como el **CV_{real}** se aproxima al **CV_{lim}** a medida que **n** disminuye. También, al aumentar la **densidad lineal de la fibra**, si mantenemos el título constante, **n debe disminuir** y el **CV** aumentar.

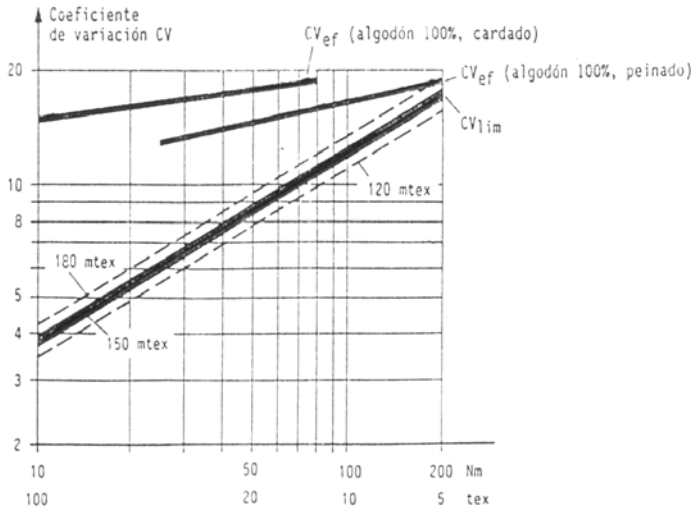


Figura 5.2 (ref. 4.1.0)

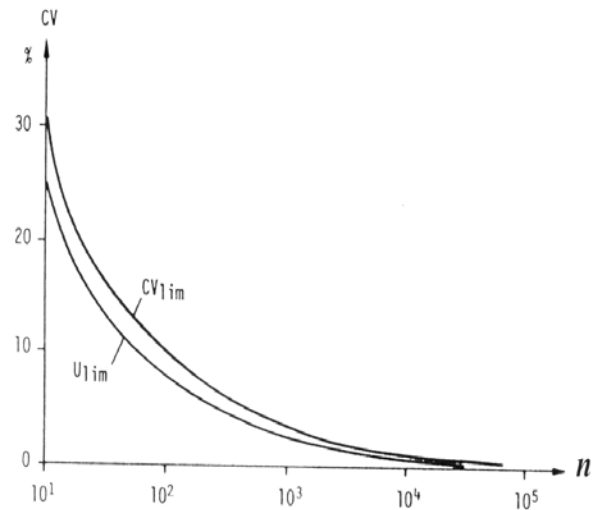
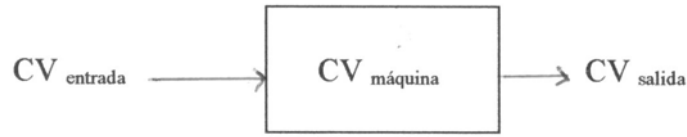


Figura 5.3 (ref. 4.1.0)

La irregularidad de una cinta, mecha o hilado a la salida de una máquina será igual a la irregularidad que traía antes de entrar a dicha máquina más la irregularidad introducida por la máquina, de acuerdo a la siguiente expresión: $CV_{salida} = \sqrt{CV_{entrada}^2 + CV_{máquina}^2}$

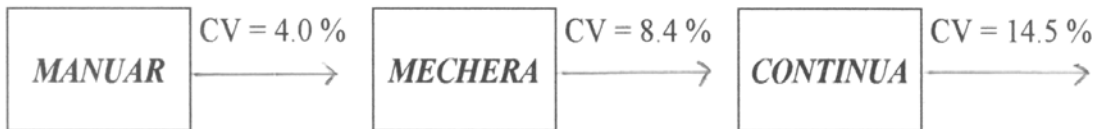


La irregularidad introducida por la máquina será, entonces :

$$CV_{máquina} = \sqrt{CV_{salida}^2 - CV_{entrada}^2}$$

Ejemplo:

En un proceso de hilatura de algodón, la **cinta** de “**manuar**” entra a la “**mechera**” con un CV de 4.0 %. La **mecha** que sale de la **mechera** tiene un CV = 8.4 % y el **hilado** que sale de la **continua de anillo**, un CV = 14.5% ¿Cuál es la irregularidad introducida en el hilado final por la **mechera** y por la **continua**?



$$CV_{MECHERA} = \sqrt{CV_{mecha}^2 - CV_{cinta}^2} = \sqrt{8.4^2 - 4.0^2} = 7.39 \%$$

$$CV_{CONTINUA} = \sqrt{CV_{hilado}^2 - CV_{mecha}^2} = \sqrt{14.5^2 - 8.4^2} = 11.8 \%$$

Si el CV de la cinta de “manuar” en vez de ser 4.0% hubiera sido 6.0% (un 50.0% mayor), la irregularidad final del hilado sería 15.2% en lugar de 14.5%. Es decir un aumento de solo 4.6%.

Solución Gráfica:

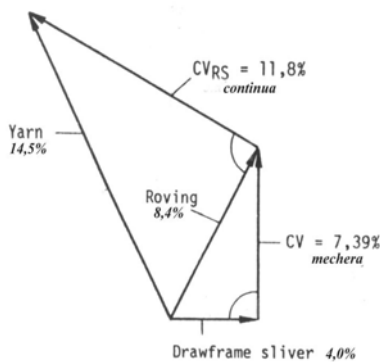


Figura 5.4 (ref. 4.1.0)

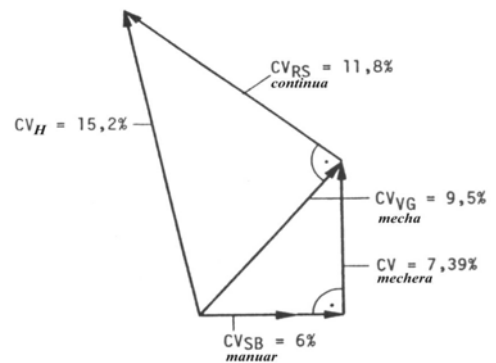


Figura 5.5 (ref.4.1.0)

1.4.0- Estadísticas USTER del índice de irregularidad.

La firma "USTER" publica periódicamente estadísticas sobre la "performance" de un gran número de hilanderías de todo el mundo. Las figuras 6 y 7 muestran, para algodón cardado y peinado respectivamente, que p.ej. solo el 5% de las hilanderías del mundo producen hilados con valores *I* iguales o menores a los indicados por las líneas marcadas 5%. Estas estadísticas le permiten a cualquier hilandería compararse o hacer "benchmarking" contra un "standard" mundial .

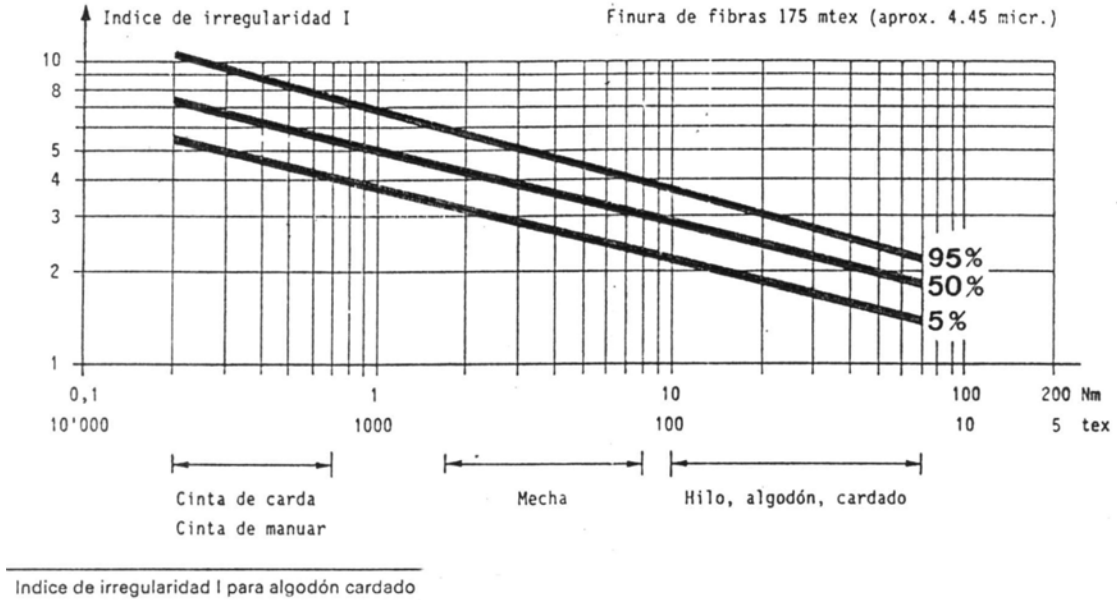


Figura 5.6 (ref. 4.3.0)

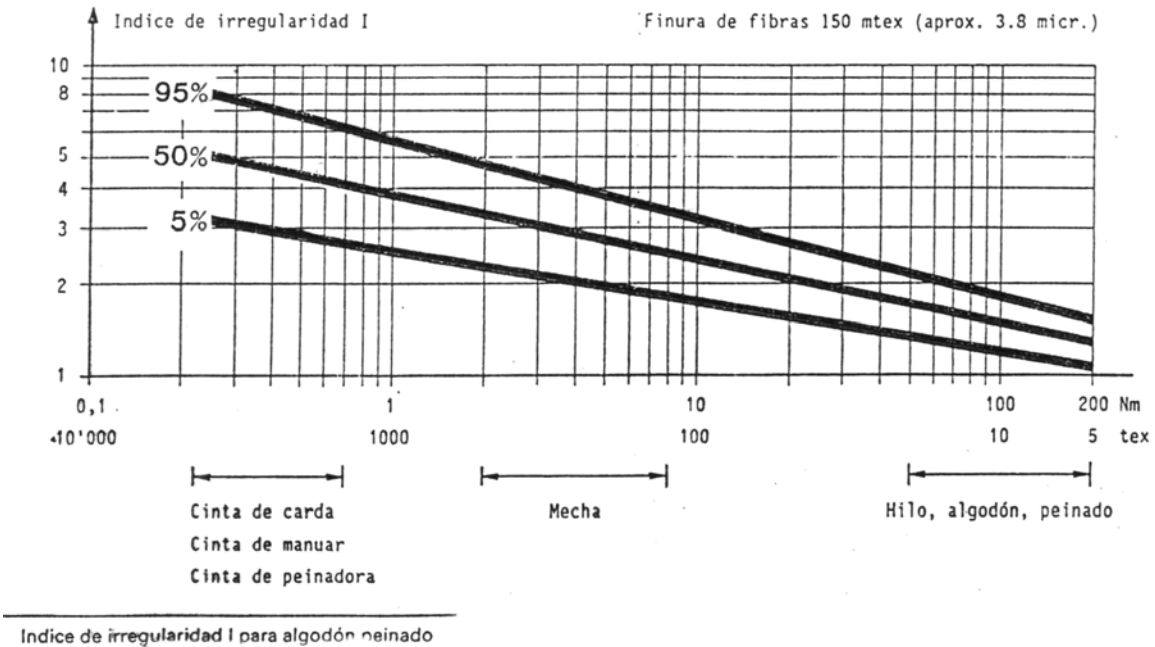


Figura 5.7 (ref. 4.3.0)

1.5.0- "Reunido" de mechas. Irregularidad resultante del "estiraje"

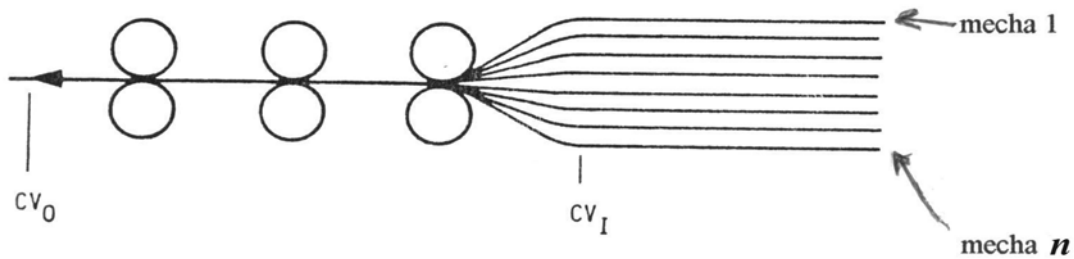


Figura 5.8 (ref. 4.1.0)

La irregularidad de todas las mechas reunidas, que se alimentan p.ej. a un "manual" se puede calcular con la expresión:

$$CV_{\text{entrada}} = X_{CV} / \sqrt{n}$$

donde X_{CV} es el valor medio de los CV de las mechas y n es la cantidad de mechas reunidas. El "manual", durante el estiraje que sufren todas las mechas reunidas, introduce una nueva irregularidad:

$$CV_{\text{salida}} = \sqrt{CV_{\text{entrada}}^2 + CV_{\text{MANUAR}}^2}$$

Ejemplo:

Se reúnen 8 mechas de algodón de $N_m = 0.25\%$ y se estiran en un "manual". El total de mechas reunidas tiene un $CV = 22.4\%$. La mecha que sale del manual tiene un $CV = 2.5\%$. ¿Que irregularidad introduce el "manual"?

Solución:

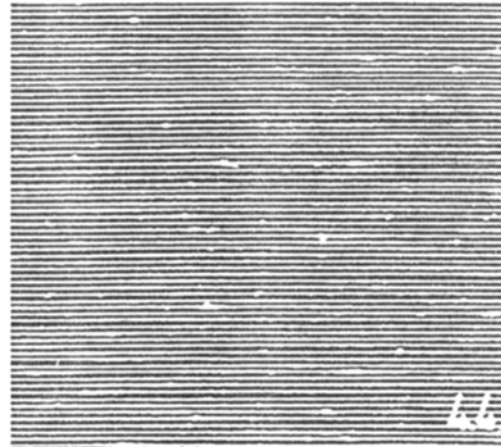
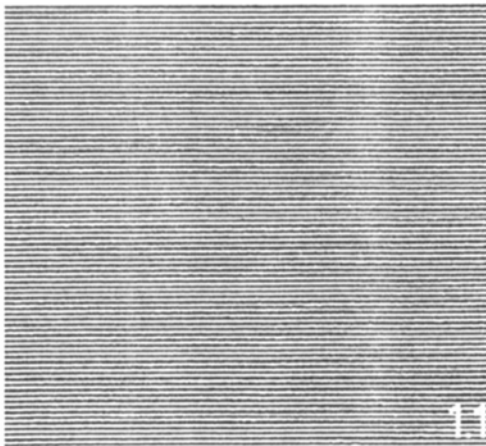
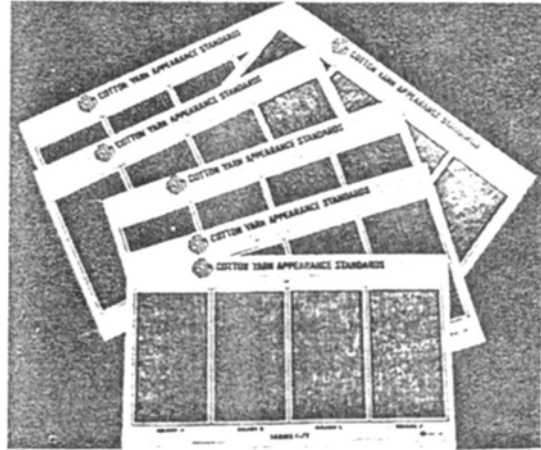
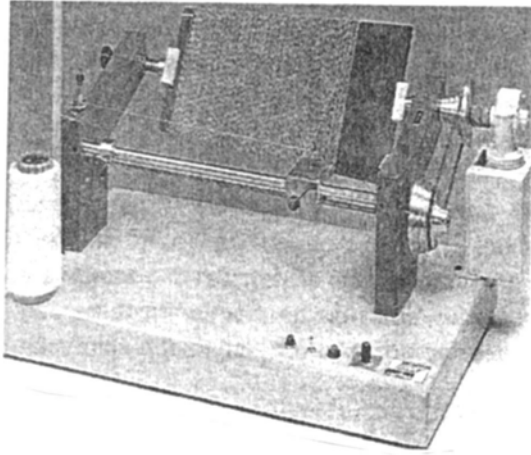
$$\begin{aligned} X_{CV} &= 22.4 / 8 = 2.8\% \\ CV_{\text{entrada}} &= X_{CV} / \sqrt{n} = 2.8 / \sqrt{8} = 0.99\% \\ CV_{\text{MANUAR}} &= \sqrt{CV_{\text{salida}}^2 - CV_{\text{entrada}}^2} = \sqrt{2.5^2 - 0.99^2} = 2.3\% \end{aligned}$$

El "reunido" o "doblaje" es importante para **paralelizar** y **mezclar** (se obtiene uniformidad del título entre las diferentes bobinas resultantes). Sin embargo, si comparamos el valor medio de los CV de las mechas a la entrada (X_{CV}) con el CV_{salida} , vemos que esta operación no permite obtener una disminución significativa de la irregularidad.

2.0.0- MEDICIÓN DE LA IRREGULARIDAD DE MASA DE LOS HILADOS

2.1.0- Métodos subjetivos.

El **filoscopio** o **filóscopo** es el instrumento más usado. Se envuelve el hilado en un cartón de contraste, lo más uniformemente posible, y se observa la irregularidad, puntos finos y gruesos y la pilosidad, contra patrones "standards".



Comparación entre dos grados extremos (hilos de algodón del 30 tex)

Figura 5.9 (ref. 4.3.0)

2.2.0- Métodos objetivos

Hasta la aparición de los regularímetros electrónicos se utilizaba el tedioso método gravimétrico de cortar la cinta, mecha o hilado a una dada longitud, pesar los trozos cortados y calcular luego, la desviación standard o el CV%.

Los modernos regularímetros electrónicos de las firmas **USTER** y **KEISOKKI** se basan en métodos electrónicos capacitivos. Los regularímetros electrónicos permiten además obtener importante información sobre la calidad de las cintas, mechas e hilados y sobre el funcionamiento de la hilandería. Esta información se obtiene como:

1) coeficientes de variación (CV%, U%), 2) índice de irregularidad, 3) diagrama de irregularidad de masa, 4) diagrama de frecuencias o histogramas, 5) espectrograma, 6) curva de variación del largo de corte (CVLC), 7) cuenta de la cantidad de defectos (“neps”, puntos gruesos y finos) por 1000 metros de hilado.

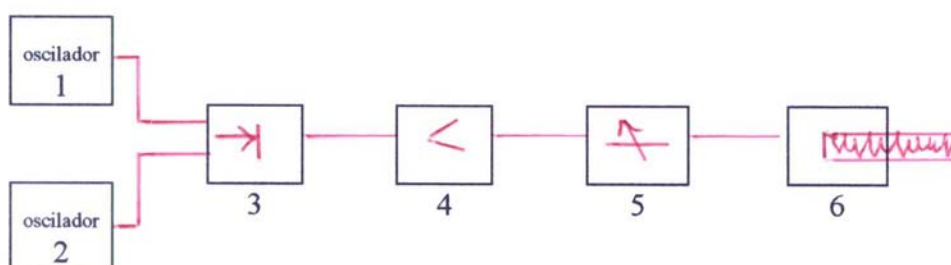


Figura 5.10

La cinta, mecha o hilado a analizar se hace pasar entre las dos placas de un condensador que registra las **variaciones de masa de corto periodo** que, para trozos de igual longitud, será proporcional a la **sección media**. Estas variaciones por unidad de longitud son transformadas en señales eléctricas.

Para realizar medidas correctas es necesario mantener limpias las placas del condensador, tener en cuenta la posible heterogeneidad del material (*mezclas de fibras de distinta naturaleza*), la presencia de ensimajes, la temperatura y humedad ambiente y el coeficiente de “relleno” del condensador.

El equipo está provisto de dos osciladores de alta frecuencia (1 y 2, en la figura 5.10). Uno de ellos oscila a una frecuencia fija, independiente de la medición que se está realizando, mientras que el otro oscila con una frecuencia que varía según la masa de la cinta, mecha o hilado que pasa entre las placas del condensador. Cuando no pasa material los dos osciladores oscilan a la misma frecuencia.

Las variaciones de frecuencia con respecto al oscilador “patrón” son transformadas en variaciones de tensión por un “discriminador”(3), ampliadas por un “amplificador”(4), transmitidas a un instrumento “indicador”(5), a un “registrador” del diagrama (6) y, en los equipos más recientes luego de procesar las señales, a la pantalla de un “monitor” donde pueden verse, y luego imprimirse, los diagramas, histogramas, espectrogramas, etc.

La marca central del “indicador” y la línea central del papel del “registrador” en que se registra la variación de masa, corresponden a la “media” de la **sección** del trozo de cinta, mecha o hilado que está siendo medido. Las variaciones de sección se calibran en porcentaje de la sección media de tal forma que una desviación de la aguja del **indicador** hacia la derecha o hacia la

izquierda, o del trazo del **registrador** hacia arriba o abajo, corresponde, respectivamente a un aumento o disminución de la sección de la cinta, mecha o hilado.

2.2.1- Irregularidad lineal (U%) y cuadrática (CV%). Diagrama e Histograma.

Si cortamos varios metros de hilado, p. ej. 100 m, en segmentos de 8 mm, y pesamos cada uno de los 12500 segmentos resultantes tendremos una distribución de frecuencias de corto período, para la que se puede calcular la media, la desviación standard y el coeficiente de variación (CV). En forma similar los regularímetros electrónicos obtienen y registran una señal eléctrica proporcional al peso del trozo de hilado medido.

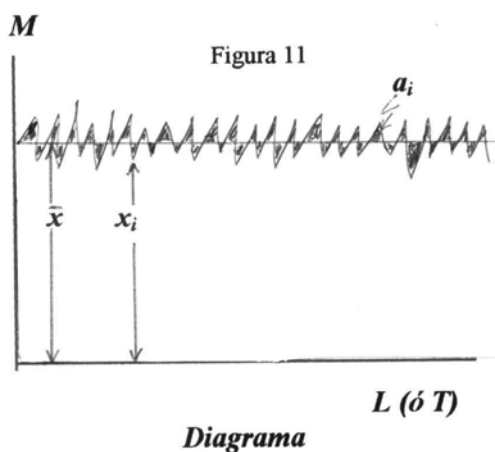


Figura 5.11

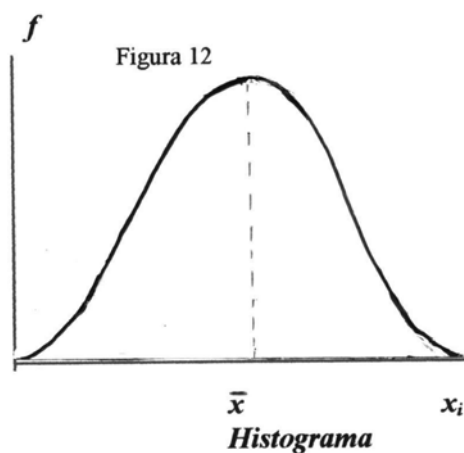


Figura 5.12

(*M*) masa, (*x_i*) valores instantáneos de masa, (*x_m*) valor medio de masa, (*L*) longitud de hilado evaluada, (*T*) tiempo de evaluación a velocidad lineal del hilado constante, (*a_i*) área entre los valores instantáneos (*x_i*) y el medio (*x_m*).

Irregularidad lineal:
$$U\% = \frac{\sum a_i \cdot 100}{x_m T} = \frac{100}{x_m T} \int |x_i - x_m| dT$$

Irregularidad cuadrática:
$$CV\% = \frac{100}{x_m} \sqrt{\frac{1}{T} \int (x_i - x_m)^2 dT}$$

(integrales entre límites 0 y t)

El CV% puede ser determinado con mayor exactitud, por medios electrónicos, que el U%, y por ello el CV% es más utilizado actualmente. La relación entre el CV% y el U% depende del equipo de medida y de la irregularidad de las fibras y del propio hilado. Para el equipo USTER y una distribución normal, se demuestra que esta relación es **CV = 1,25 U**

Los regularímetros electrónicos poseen un **integrador** que a partir de las señales correspondientes a las medidas, calcula el CV%, el U% y también el índice de irregularidad *I*. Para el cálculo de este último, es necesario suministrar previamente al equipo los datos correspondientes a la materia prima utilizada.

El **diagrama** de irregularidad sería similar a un “**gráfico de control**” de los que se usan comúnmente para el control de calidad en diversas industrias, con la importante diferencia que el regularímetro lo registra en forma continua y automática. El **diagrama** nos permite obtener información que no se puede deducir de los simples valores de CV% o U%. Detecta: **1)** variaciones de masa *de corto y largo período*, **2)** defectos *periódicos* de gran longitud de onda,

especialmente los de más de 40 metros, que no los registra el **espectrograma**, **3)** cambios lentos y/o escalonados del *valor medio*, **4)** puntos finos y gruesos de cualquier magnitud.

Para el registro del **diagrama** se establecen escalas de sensibilidad: (+)(-) 100% para hilos, (+)(-) 50% para mechas, (+)(-) 25% para mechas y cintas, (+)(-) 12,5% para cintas. P.ej. en el caso de hilos, el 0% corresponde a la sección media del hilado, el -100% a la ausencia de hilo y el +100% al doble de la sección media. De acuerdo a la velocidad de pasaje de material entre las placas del condensador, en *m/min*, y a la velocidad del papel del registrador, en *cm/min*, ambas constantes, se pueden calcular los metros de material correspondiente a un *cm* de desplazamiento longitudinal del diagrama impreso.

2.2.2- Diagrama en el modo operativo "Standard" o "Normal Test"

El largo de cinta, mecha o hilado correspondiente a la más pequeña variación de masa que pueda ser registrada en el **diagrama**, y que produzca una adecuada **amplitud de onda**, dependerá principalmente del **largo del campo de medida**. Cuanto más corto el campo de medida, menor será la **longitud de onda λ** , de la variación de masa, que podremos registrar.

Por razones constructivas y de estabilidad de la medida existen límites para la longitud del campo de medición. Las longitudes de los campos de medición de los regularímetros USTER son: 20 y 12 mm para cintas y mechas, 8 mm para mechas e hilados y 17 mm para hilados de filamentos continuos.

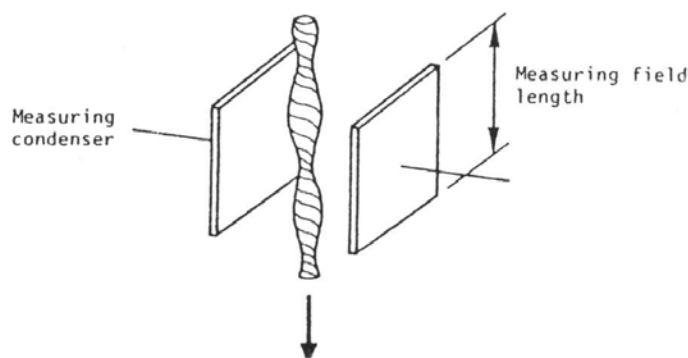


Figura 5.13 (ref. 4.1.0)

Las variaciones de masa más cortas que la longitud del campo de medición, no pueden ser indicadas en función de su real dimensión pero aparecen, de todas formas, indicadas con una cierta amplitud de acuerdo a determinadas relaciones.

Consideremos una **variación periódica** de la cinta, mecha o hilado, cuya **longitud de onda λ** se corresponde exactamente con la longitud del campo de medida. Para simplificar, supongamos además que dicha periodicidad es sinusoidal, es decir que dentro del campo de medición, el aumento de masa es igual a su disminución. Este defecto no será detectado por el equipo, pues ambas variaciones se compensan.

Si en cambio, la **longitud de onda λ** del defecto es **algo menor** o **mayor** que la longitud del campo de medición **l** , se produce una señal cuya magnitud dependerá, de acuerdo a ciertas leyes físicas, de la relación entre **λ** y **l** . El tamaño efectivo de la **amplitud** correspondiente a la

variación de masa detectada, expresado en porcentaje (*en ordenadas*), es indicado en la figura siguiente en función de **λ** (*en abscisas*) para distintos **l**

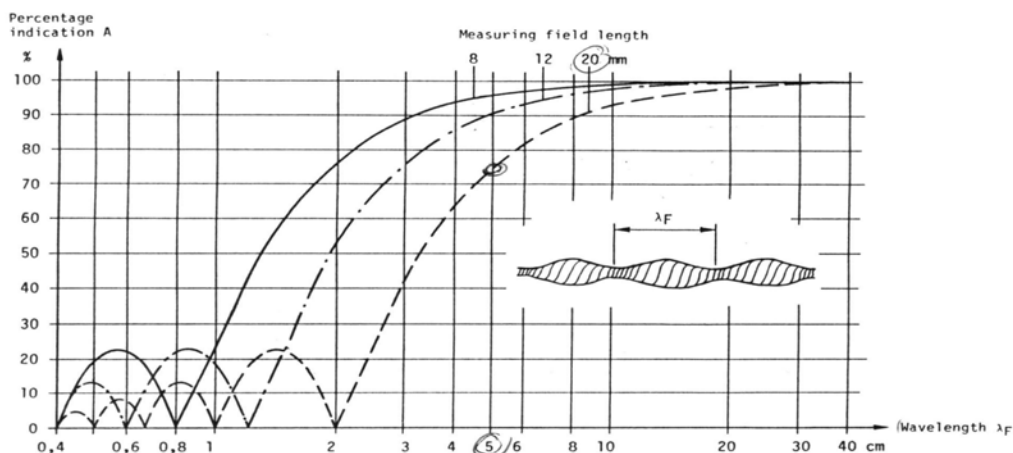


Fig. 5.14 (ref. 4.1.0)

Por ejemplo una cinta de **manuar** con una **variación periódica** corta de $\lambda = 5$ cm, al pasar por el campo de medición de 20 mm de largo, con el regularímetro operando en modo “**normal test**”, quedará registrada en el **diagrama** con sólo el 75% de su **amplitud** real. Este diagrama fue construido en la suposición de que la variación periódica tenga una forma sinusoidal pura, lo que en la realidad puede no ocurrir. Sin embargo es posible asumir esto pues, en general, los defectos periódicos reales pueden subdividirse en varias curvas sinusoidales.

En cambio si la cinta, mecha o hilo, al pasar a través del campo de medida, presenta un **defecto que ocurre al azar**, este no será registrado en su **amplitud** completa, a menos que su longitud sea mayor a los 10 cm, aproximadamente, como lo indica la **Figura 5.15**:

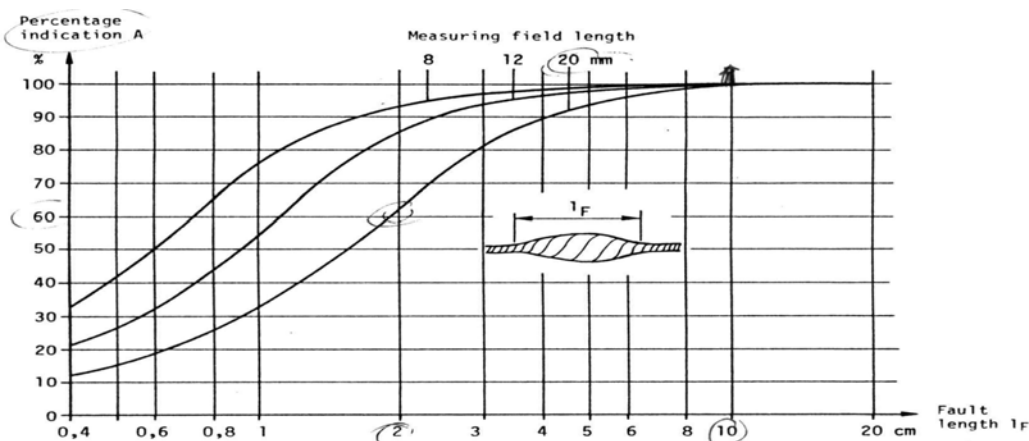


Figura 5.15 (ref. 4.1.0)

Por ejemplo, un engrosamiento de 2 cm de largo en una mecha de algodón, pasando por el campo de medida de 20 mm de largo del regularímetro, será registrado en el **diagrama** con un 62% de su **amplitud** real. Los defectos **periódicos cortos** serán entonces registrados en el **diagrama** con una amplitud más de acuerdo a su **longitud de onda** que al **tamaño** real de su sección. De la misma manera, la amplitud de los defectos **al azar** serán registrados por su **longitud** más que por el **tamaño** real de su sección. Como se verá más adelante, los **defectos periódicos cortos** son entonces mejor registrados con el “**espectrograma**” y los **puntos finos, gruesos** y “**neps**”, se cuentan con el “**indicador de imperfecciones**”.

2.2.3- Diagrama en modo operativo "Inert Test"

Como vimos, con el modo operativo "**NORMAL TEST**" se obtiene una señal relacionada a la "longitud del campo de medición". La señal está compuesta de una superposición de variaciones de masa, de corto y largo período, correspondientes al material ensayado

Si aumentamos la velocidad de pasada del material entre las placas del condensador es como si aumentáramos la "longitud del campo de medida", lo que a su vez equivale a aumentar la "longitud de corte" a la que hacemos la medida.

Mayores "longitudes del campo de medida" nos permitirán, como ya vimos, atenuar, suprimir o "filtrar" las variaciones de masa de corto período. De esta forma, en el modo operativo "**INERT TEST**", la señal obtenida, y registrada en el **diagrama**, es "filtrada" o "purgada" de las variaciones de corto período.

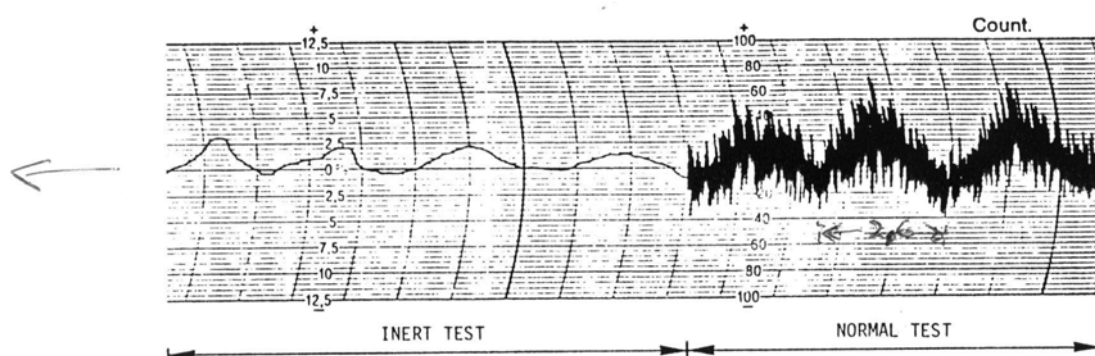


Figura 5.16 (ref. 4.1.0)

El modo operativo "**INERT TEST**" nos suministra: **1)** una indicación de las variaciones al azar del valor medio del material en ensayo, **2)** un medio de localizar e indicar las variaciones de largo período del material en ensayo, **3)** una forma de establecer el valor medio de la señal del instrumento correspondiente al hilado.

Operando en el modo **INERT TEST**, si en el **diagrama** aparecen variaciones de término medio, se puede hacer estas más destacables seleccionando velocidades apropiadas para el material y para el papel. En la figura siguiente se puede seleccionar, para una dada longitud de onda λ , una velocidad de material que nos permita obtener en el **diagrama**, una adecuada amplificación de dicho defecto periódico.

Supongamos por ejemplo que el **diagrama** de la Figura 5.16 fue obtenido con una velocidad del hilado de 200 m/min y una velocidad del papel de 20 cm/min. En estas condiciones 1 cm de diagrama corresponde a 10 m de hilado. La longitud de onda marcada en el **diagrama**, mide aproximadamente 2,6 cm. En el hilado corresponderá a una longitud de onda $\lambda = 2,6 \times 10 = 26\text{m}$.

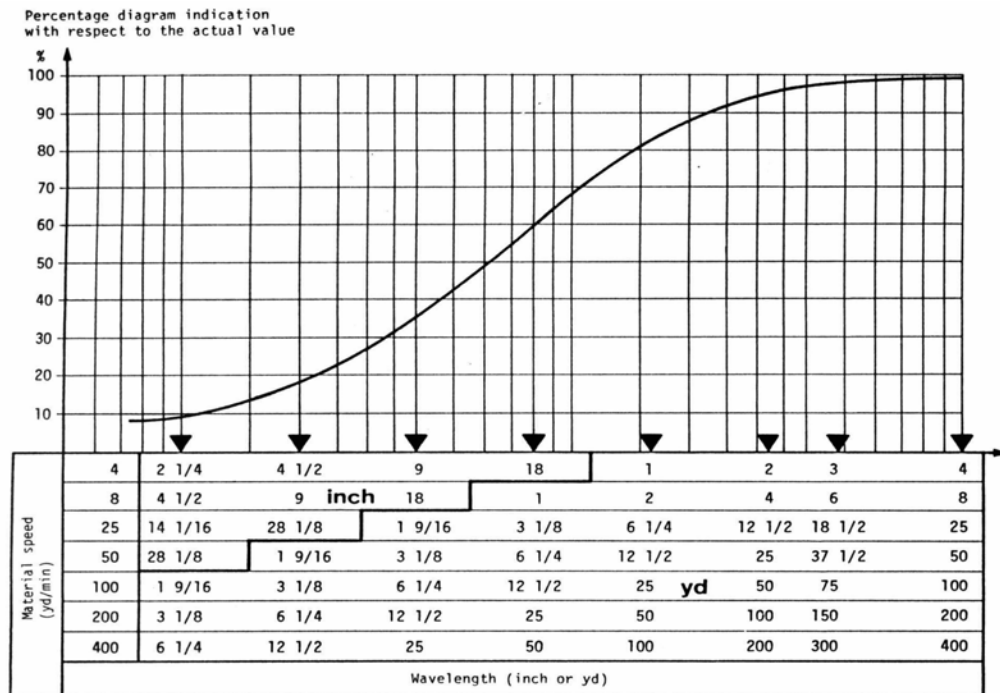


Figura 5.17 (ref. 4.1.0)

En la Figura 5.17 se ve que operando en modo **"INERT TEST"**, con una velocidad del material de 200 m/m, para esa $\lambda = 26$ m, la amplitud correspondiente a ese defecto periódico aparecerá en el **diagrama** aproximadamente como un 55-60 % del valor real. Si cambiamos la velocidad del papel a 10 cm/min, tendremos $\lambda = 2,6 \times 20 = 52$ m con lo que la amplitud pasa a ser aproximadamente un 80% del valor real.

2.2.4- Diagrama en modo operativo **"L-Test"**

En el modo operativo **"INERT TEST"**, para acentuar la longitud de onda correspondiente, a cualquier valor medio de variación de masa, solo se puede cambiar la velocidad del material (cinta, mecha o hilado) que se está ensayando. Sin embargo, en algunos casos puede ser necesario trabajar en un modo operativo similar al **"INERT TEST"** pero sin variar la velocidad del material que se está ensayando. Estas condiciones se logran con el modo operativo **"L-TEST"**.

En este modo operativo, para una dada velocidad v_m del material en ensayo, se establece un valor aparente de "longitud de corte", L , fijando, por medio de una perilla "vernier", un **"L-factor"**.

$$L = (\text{L-factor})v_m/100$$

L , "largo de corte" en metros; **"L-factor"**, valor fijado en la escala vernier; v_m , velocidad del material en m/min

En la *Figura 5.18* se puede apreciar que con un “**L-factor**” de 10 y una v_m de 400 m/min, la máxima “longitud de corte”, L , que se puede obtener es de 40 m

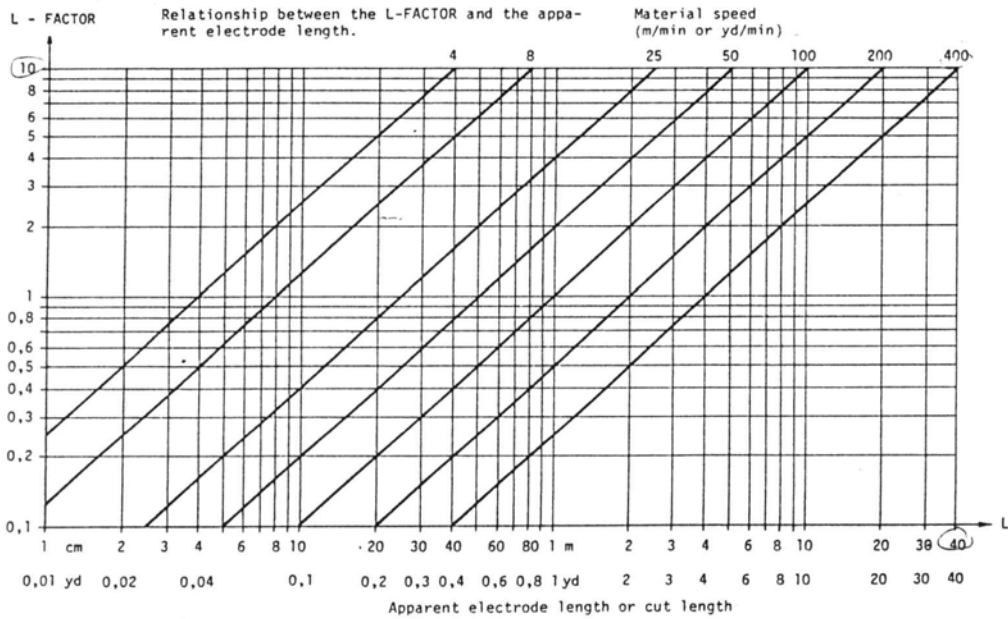


Figura 5.18 (ref.4.1.0)

Si se desea destacar una determinada longitud de onda λ del *diagrama*, en el nomograma de la *Figura 5.19* se puede obtener el “**L-factor**” óptimo correspondiente a una dada velocidad v_m de material.

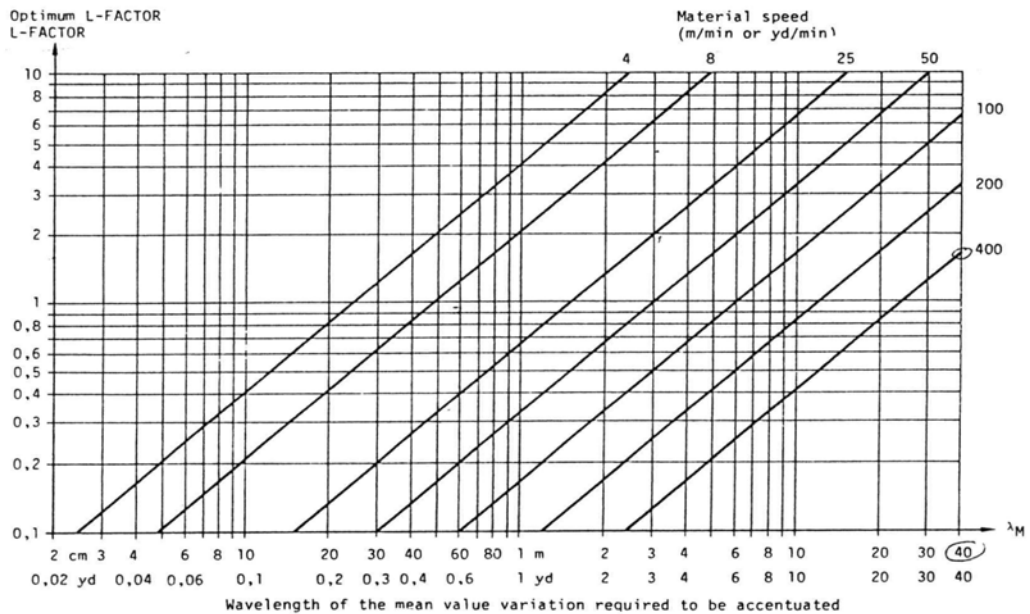


Figura 5.19 (ref. 4.1.0)

Por ejemplo, si en el *diagrama* que se muestra en la *Figura 5.20*, registrado a una velocidad de 400m/min, se quisiera destacar la $\lambda = 40$ m, la perilla “vernier” del **L-factor** debería ubicarse en un valor aproximado de 1,7

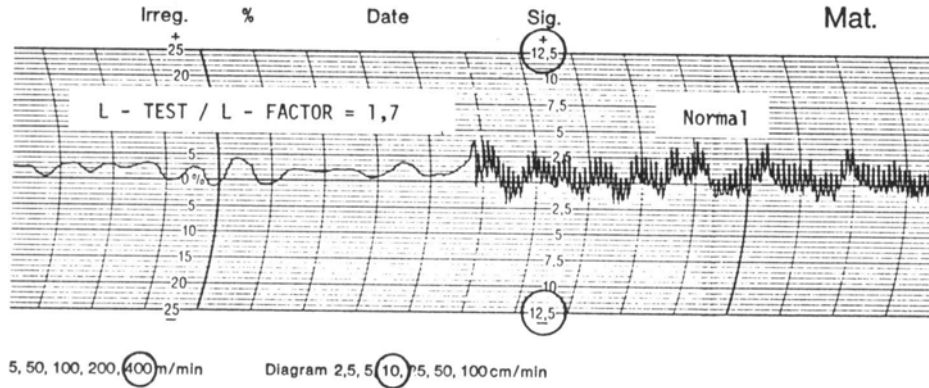


Figura 5.20 (ref. 4.1.0)

Si se desean “longitudes de corte” mayores de 40 m es necesario utilizar el “**factor de valor promedio AF**”. Este factor es proporcional al *título medio correspondiente al largo de la muestra ensayada*. El equipo lo determina asignando un valor **AF** = 100 al título correspondiente al comienzo de la primera muestra de una serie de mediciones. Si, p.ej., el título de la segunda muestra es 5% menor que el valor del comienzo de la primer muestra, al completarse la medición de esta segunda muestra, el equipo imprime el valor 95 y así sucesivamente como en el ejemplo siguiente:

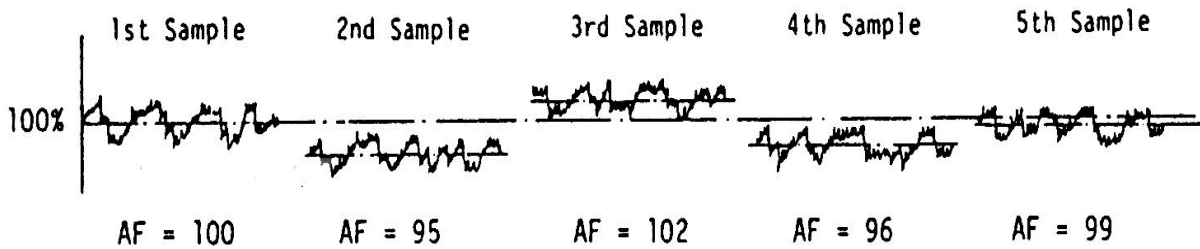


Figura 5.21 (ref. 4.1.0)

Cuando se trabaja entonces, con el factor **AF** para “largos de corte” mayores de 40 m, la variación de masa o de título que se determina corresponde al producto de la velocidad v_m del material por el tiempo que dura el ensayo. Con una velocidad de 400 m/m y un tiempo de ensayo de 2,5 min. la longitud de corte será de 1000 m. La exactitud del modo operativo que utiliza el factor **AF** es menor a la del “**L-TEST**”.

2.2.5- Curva de variación del largo de corte (CVLC)

Supongamos que cortamos un hilado en porciones de igual largo L cada una, pesamos cada porción y calculamos el CV% de esos pesos. Si hacemos lo mismo para distintos largos de corte L y trazamos una gráfica, en papel logarítmico doble, los CV resultantes vs. los correspondientes largos de corte L, obtendremos una “curva de variación del largo de corte (CVLC)” como la de la *Figura 5.22*:

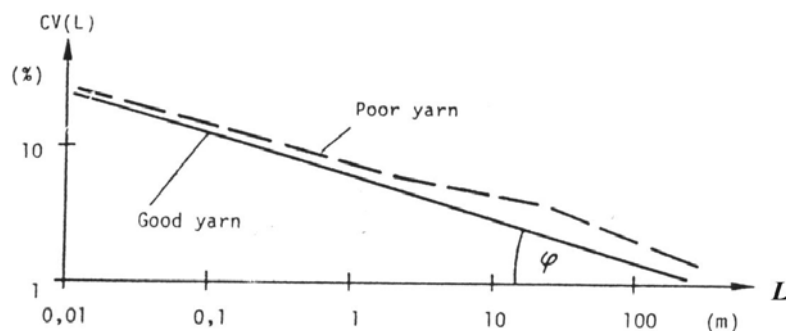


Figura 5.22 (ref. 4.1.0)

En una CVLC normal, a mayores largos de corte L se obtendrán menores CV. Esto es lógico que ocurra pues a mayores largos de corte L mayor será la compensación interna de la irregularidad dentro de cada porción de largo de corte L .

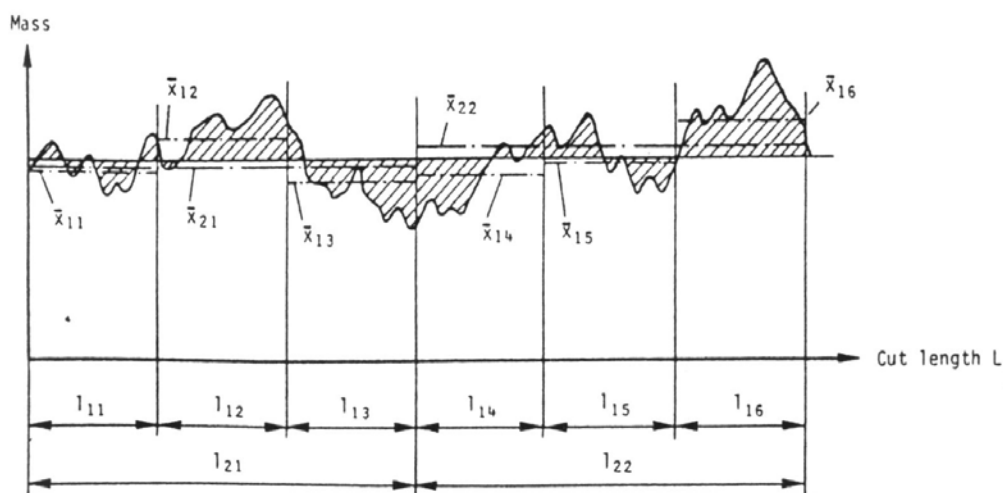


Figura 5.23 (ref. 4.1.0)

Con hilados hechos con la misma materia prima y en iguales condiciones de hilatura se obtendrán siempre una CVLC recta y con la misma pendiente φ . En realidad esto es así solo en el rango de L entre 1 cm y 100 m. Para largos de corte L menores de 1 cm o mayores de 100 m la CVLC tiende a ser achatada.

Una desviación de la CVLC normal, como p.ej. la que muestra la línea punteada en la *Figura 5.22*, indica siempre algún problema de la materia prima o en las máquinas que intervienen en el proceso de hilatura.

2.2.6- Obtención de la CVLC con los equipos USTER II y III.

Cortar y pesar cada porción de hilado para trazar una CVLC consumiría mucho tiempo. Con los regularímetros electrónicos **USTER** dicha curva se obtiene fácilmente utilizando el modo operativo "L-TEST".

Con el equipo **USTER II**, la CVLC debe ser trazada, en papel logarítmico doble, con los datos de CV suministrados por el equipo para, por lo menos 7 distintas longitudes de corte como en el ejemplo que se resume a continuación en la *Tabla 5.1* (ref. 4.1.0):

TABLA 5.1

Largo de corte L, m	Velocidad del material, m/min	L-factor	Tiempo de evaluación por ensayo, min	Cantidad de ensayos	Largo de las muestras ensayadas, m
0.04	25	0.16	5	3	25 x 5 x 3 = 375
0.1	50	0.2	2.5	3	50 x 2.5 x 3 = 375
0.4	100	0.4	1	3	100 x 1 x 3 = 300
1.0	200	0.5	1	3	200 x 1 x 3 = 600
4.0	200	2.0	1	3	200 x 1 x 3 = 600
10.0	400	2.5	1	3	400 x 1 x 3 = 1200
40.0	400	10.0	1	3	400 x 1 x 3 = 1200
largo total de hilado requerido para los ensayos					4650

Para 7 puntos de medida, tres ensayos por punto de medida y un máximo largo de corte L de 40 m, es necesaria una muestra de 4650 m de hilado. En general, y con hilado de “continua de anillo”, para esta longitud de muestra alcanza con una sola “canilla”. En caso de ser necesarias más, todas las “canillas” deben tomarse del mismo huso o “posición” de la “continua de anillo”.

El largo de corte L máximo que se puede obtener con el modo operativo “**L-TEST**” es 40 m. Si se desea extender la CVLC para $L > 40$ m, se deben utilizar “**factores de valor promedio AF**” (ver 2.2.4). Para una CVLC entonces, que incluya largos de corte L superiores a 40 m, y que por tanto haya sido construida utilizando primero el “**L-TEST**” y luego el factor **AF**, conviene que el trazado sea brevemente interrumpido a la altura de los 40 m, para indicar el cambio de método.

Si el hilado en estudio, a determinados L, tiene un $CV < 1.2$ % es aconsejable cambiar la sensibilidad del equipo de acuerdo a la *Tabla 5.2* (ref. 4.1.0).

TABLA 5.2

SENSIBILIDAD rango de la escala, %	Valor aproximado del CV %
100	1.2
50	0.6
25	0.3
12.5	0.15

Con el más moderno modelo **USTER III**, la CVLC es trazada automáticamente y puede imprimirse o verse directamente en la pantalla del monitor.

2.2.7- La identificación de las máquinas causantes de irregularidad y la CVLC.

Para poder saber que etapa del proceso de hilatura es la responsable de una desviación de la normal de una CVLC, es necesario asignar a cada máquina una correspondiente L. Para ello es necesario comenzar conociendo el **largo medio de fibra I**, obtenida del “**diagrama del largo**”, correspondiente a la materia prima en cuestión ¹. Si lo que conocemos es I_n (largo “hauteur”), como estamos evaluando irregularidad de “masa”, debemos calcular \bar{I}_w (largo “barbe”), que es la media sesgada por “peso” o “masa”:

$$\bar{I}_w = \bar{I}_n(1 + CV^2) = \bar{I}_n \cdot k$$

(donde **k** es aproximadamente 1.18 para el algodón, 1,27 para la lana y 1.00 para las fibras químicas)

Si en cualquier máquina, durante el proceso de hilatura, se producen “ondas de estiraje”, p.ej. por “ecartamientos” mal establecidos, tendremos una variación de masa alrededor del rango de

¹ El diagrama del largo de fibra se puede obtener con un fibrógrafo pero puede también ser estimado aproximadamente a partir del espectrograma de la cinta, mecha o hilado.

longitud media de las fibras. Si multiplicamos entonces el largo medio de fibra, por los **estirajes** que preceden a la salida del hilado, podremos asignarle un largo L característico a cada una de las distintas etapas del proceso de hilatura .

Ejemplo:

En una hilandería de algodón ($l_n = 2.5 \text{ cm}$) se produce un hilado con los estirajes que se indican a continuación: **continua de anillo $E = 28$; mechera $E = 10$; segundo manual $E = 7.5$; primer manual $E = 7.5$** . Para este hilado se obtuvo una CVLC como la (2) que se muestra en la Figura 5.24

$$l_w = 2.5 \times 1.8 = 2.95$$

$$L_1 = 2.95 \times 28 = 83 \text{ cm (hilado a la salida de la continua de anillo)}$$

$$L_2 = 83 \times 10 = 830 \text{ cm} = 8.30 \text{ m (mecha a la salida de la mechera)}$$

$$L_3 = 8.30 \times 7.5 = 6222 \text{ cm} = 62.2 \text{ m (cinta a la salida del segundo manual)}$$

$$L_4 = 62.2 \times 7.5 = 46670 \text{ cm} = 467 \text{ m (cinta a la salida del primer manual)}$$

Según el resultado de estos cálculos, podríamos afirmar que la desviación que se observa en la CVLC (2), a aproximadamente $L = 1 \text{ m}$, con respecto a la CVLC (1) normal, es causada por un problema en la “mechera” ($L = 83 \text{ cm}$).

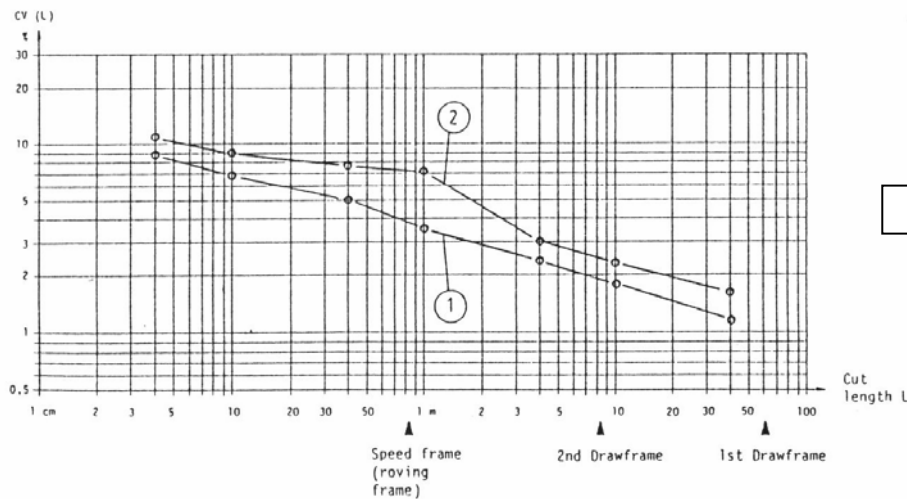


Figura 5.24

Para asignar en la CVLC, un **L característico a cada etapa del proceso de hilatura** hemos considerado solo las variaciones de masa “**casi periódicas**” causadas por ondas de estiraje. En la sección 2.2.9 veremos como influyen las variaciones de masa “**estrictamente periódicas**” (producidas generalmente por defectos mecánicos) en la CVLC.

2.2.8- CVLC de un hilado ideal

H.Olerup (ref. 4.4.0) y H.Brenley (ref. 4.5.0) estudiaron el cálculo de la CVLC para un hilado con una distribución óptima de fibras de largo constante o casi constante y con irregularidad límite. Para este caso especial desarrollaron las siguientes ecuaciones básicas:

$$\begin{aligned} \text{(I)} \quad & [CV_{(L)} / CV_{(0)}]^2 = 1 - (L / 3 \cdot \bar{l}) \text{ para } L \leq \bar{l} \\ \text{(II)} \quad & [CV_{(L)} / CV_{(0)}]^2 = \bar{l} / L - \bar{l}^2 / 3L^2 \text{ para } L > \bar{l} \\ \text{(III)} \quad & [CV_{(L)} / CV_{(0)}]^2 = \bar{l} / L \text{ para } L \gg \bar{l} \\ & \text{(si } L \text{ es mucho mayor que } \bar{l} \text{ resulta } \bar{l}^2 / 3L^2 \approx 0) \end{aligned}$$

donde $CV_{(L)}$ es el coeficiente de variación referido al largo de corte L ; $CV_{(0)}$ ídem a un **largo de corte correspondiente a un campo de medición de 8mm**; L es el largo de corte y \bar{l} es el largo medio de fibra. Si ahora la CVLC es calculada de acuerdo a estas ecuaciones y se dibuja en papel de escala normal, se obtiene una CVLC teórica como la siguiente:

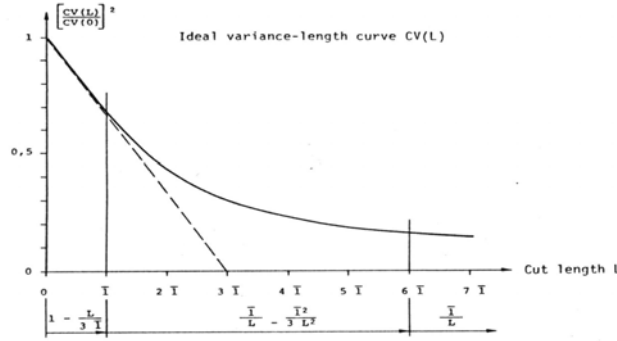


Figura 5.25 (ref. 4.1.0)

Transformando (III) tendremos: $CV_{(L)} / CV_{(0)} = \sqrt{\bar{l}/L}$ y luego: $CV_{(L)} = CV_{(0)} \sqrt{\bar{l}/L}$. Si sustituimos $CV_{(0)} = 100 / \sqrt{n}$, tendremos: $CV_{(L) \text{ lim}} = (100/\sqrt{n}) / \sqrt{\bar{l}/L}$ (donde $CV_{(L) \text{ lim}}$ es la irregularidad límite cuando $L \gg \bar{l}$ con referencia al largo de corte L)

Ahora en la Figura 5.26 vemos que la **CVLC 1** corresponde a la **curva ideal calculada** mientras que la **CVLC 2** es la que resulta de la **medición** en el equipo **USTER**. La irregularidad de un hilado no solo será mejor cuanto menor el CV sino también cuanto mayor la pendiente de la CVLC.

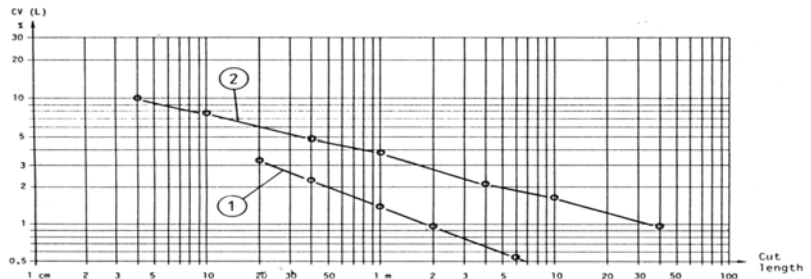


Figura 5.26 (ref. 4.1.0)

En papel logarítmico doble, para un hilado de algodón de título 19,7 tex, $n = 117$, largo medio de fibra de 22 mm y diámetro aparente 0,168 tex

2.2.9- CVLC y las variaciones de masa periódicas

Supongamos una cinta, mecha o hilado con una variación de masa **periódica**, de longitud de onda λ y exenta de variaciones al azar o "**no periódicas**". Supongamos además que esta cinta, mecha o hilado es cortada a largos $L = \lambda, 2\lambda, 3\lambda$, etc.

La **CVLC ideal (A)**, en papel de escala lineal, tomará entonces la forma **(B)** en la que $CV_{(L)}$ valdrá cero para $L = \lambda, 2\lambda, 3\lambda$, etc. Si además hay también variaciones de masa "**no periódicas**" superpuestas, la **CVLC ideal (A)** tomará la forma **(C)** (Figura 5.27)

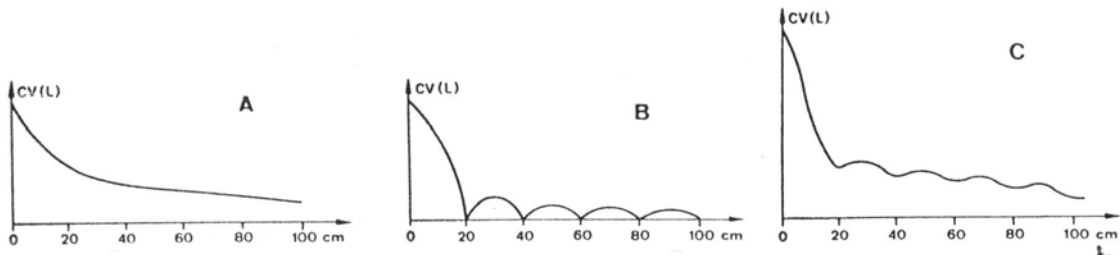


Figura 5.27 (ref. 4.1.0)

La influencia entonces de las variaciones de masa periódicas en la CVLC es muy limitada. La CVLC no es por tanto la herramienta más idónea para detectar estas variaciones. Para detectarlas adecuadamente debemos recurrir al **espectrograma**.

2.2.10- Las variaciones de masa periódicas y el espectrograma

Los equipos de hilatura con piezas defectuosas que realizan movimientos circulares, pueden producir sobre la cinta, mecha o hilado, variaciones de masa **periódicas estrictas**. Tal es el caso de: **1)** cardas con tambores no perfectamente circulares o con guarniciones defectuosas, **2)** “manuales” y “pasajes” con rodillos excéntricos, ovales, con muescas, etc., **3)** “mecheras” y “continuas” con aletas o anillos, respectivamente, no concéntricos con el huso o con husos que vibran, etc.

Estas variaciones de masa son muy difíciles de apreciar en el **diagrama** pero pueden detectarse claramente con el **espectrograma**. Las variaciones de masa **periódicas estrictas** que se producen repetidamente, a una dada **frecuencia**, son seleccionadas por el regularímetro y aparecen como una “chimenea” en el **espectrograma**. El **diagrama** registra las variaciones de masa en función del **tiempo (t)** mientras que el **espectrograma** lo hace en función de la **frecuencia (f)** de dichas variaciones:

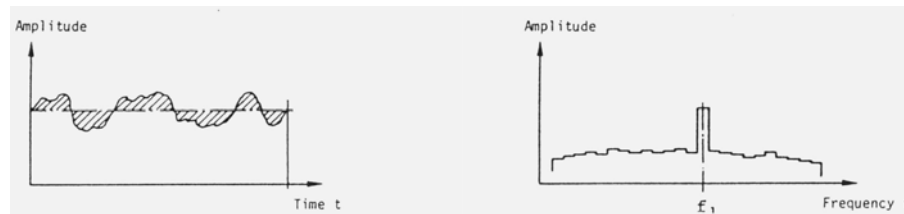


Figura 5.28 (ref. 4.1.0)

Sin embargo, es más conveniente obtener un espectrograma en función de la **longitud de onda (λ)** de la variación de masa, que en función de su **frecuencia**: $\lambda = v / f$ donde v = velocidad del material {m/s}

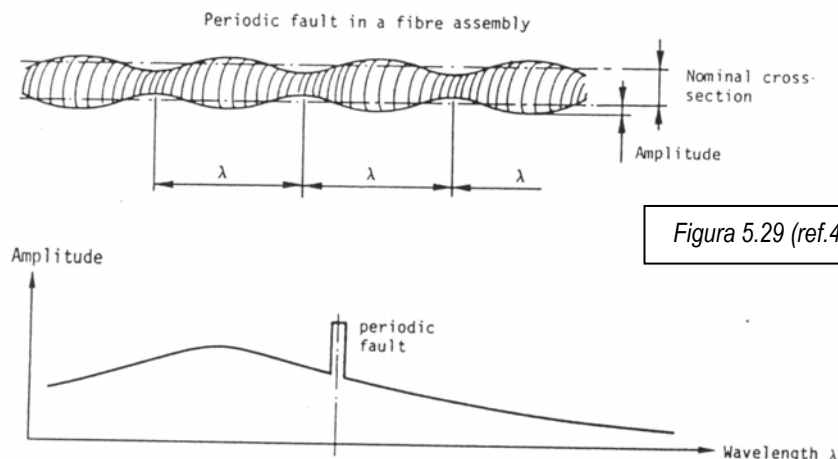


Figura 5.29 (ref.4.1.0)

Un **espectrograma** es teóricamente una función continua pero, por razones técnicas y económicas, los regularímetros lo registran en forma discontinua por medio de filtros separados entre si a determinada distancia. Esto explica el aspecto “escalonado” que tienen los **espectrogramas**.

TABLA 5.3

TIPO DE REGULARÍMETRO	CANTIDAD DE FILTROS
USTER Convencional GGP	35
USTER I	54
USTER II	55
USTER III	75
KEISOKKI KET-80II	65

2.2.11- Espectrograma ideal y espectrograma normal

Un hilado que presente una irregularidad límite (CV_{lim}), es decir que tenga un índice de irregularidad $I = 1$, tendrá un **espectrograma ideal**. En cambio un hilado real, libre de variaciones de masa periódicas estrictas, tendrá un **espectrograma normal**, más alto que el **ideal** (ver Fig. 5.30):

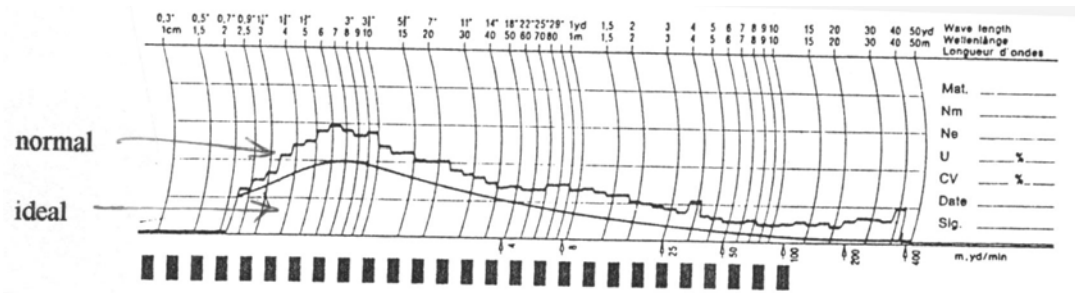


Figura 5.30 (ref. 4.1.0)

La relación de la amplitud del espectro normal a la del espectro ideal, en cada punto, será igual al índice de irregularidad I .

2.2.12- El espectrograma y el largo de fibra

Si en un hilado todas las fibras tuvieran la misma sección y estuvieran estiradas en toda su extensión, tocando el fin de una el comienzo de la siguiente, la irregularidad de ese hilado sería cero y el espectrograma sería una línea recta a lo largo de la línea de base. Esto está, por supuesto, muy lejos de ser lo que ocurre en la realidad con hilados hechos de fibras discontinuas. Sin embargo, en el caso de hilados hechos con fibras continuas o filamentos, obtenemos espectrogramas que se aproximan algo a esta situación ideal (ver Fig.5.31)

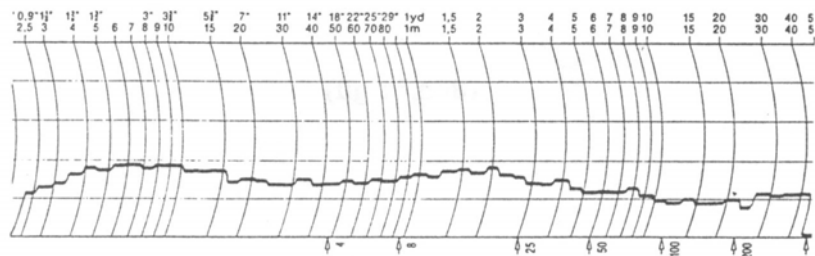


Figura 5.31 (ref.4.1.0)

Supongamos ahora un hilado con irregularidad límite, hecho con fibras discontinuas todas de igual longitud. Si medimos la variación de masa a lo largo de ese hilado se detectarían aumentos de masa instantáneos al comienzo de cada fibra y una disminución, también instantánea, al final de cada fibra. La Figura 5.32 muestra el **espectrograma ideal** para un hilado ideal de este tipo.

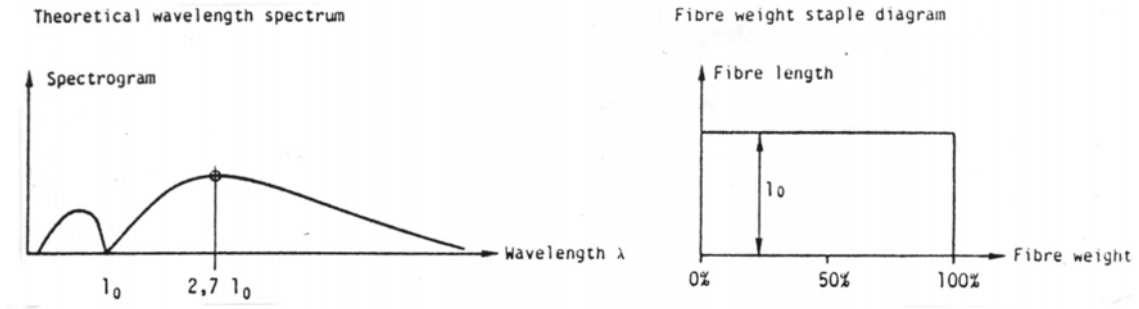


Figura 5.32 (ref. 4.1.0)

Este espectrograma representa a la siguiente función, obtenida a partir de consideraciones teóricas:

$$S = f(\lambda) = \frac{l}{\sqrt{\pi \cdot n}} \frac{\sin \frac{\pi \cdot l_0}{\lambda}}{\sqrt{\frac{\pi \cdot l_0}{\lambda}}}$$

S = amplitud del espectrograma, n = fibras por sección, l_0 = largo medio de fibra, λ = longitud de onda

Vemos que el espectrograma es cero a $\lambda = l_0$ y pasa por un máximo a $\lambda = 2.7 l_0$. Si bien este caso es también ideal, vemos que un hilado hecho con fibras artificiales o sintéticas, es decir, fibras que han sido cortadas a un dado largo y por tanto con un CV% del largo muy bajo, el espectrograma **normal** a $\lambda = l_0$ sin llegar a cero, insinúa un mínimo.

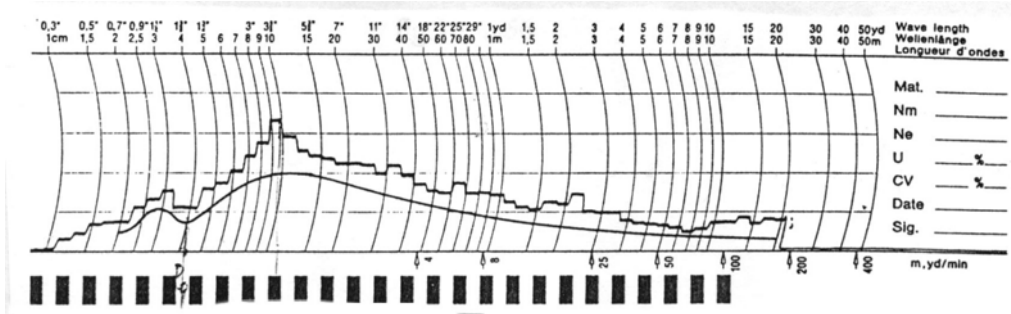


Figura 5.33 (ref. 4.1.09) - Hilado de PES, 40mm de largo medio de fibra

Para hilados de fibras naturales (con altos CV% de largo de fibra) el **espectrograma ideal** será diferente y pasará por un máximo a $\lambda = 2.82 l_w$ donde l_w es el **largo medio** de fibra segado por peso o "**barbe**". Si suponemos fibras de la misma sección, la media "barbe" estará también segada por largo de fibra (ref. 4.6.0)

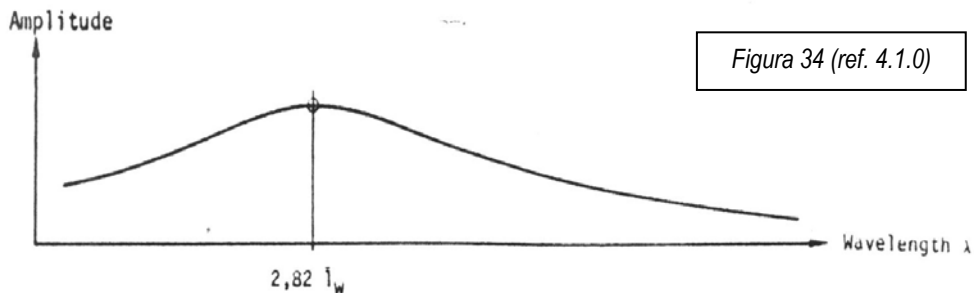


Figura 34 (ref. 4.1.0)

En un **espectrograma normal**, de hilado de lana, se puede apreciar que el máximo está desplazado a la derecha con respecto a uno similar de algodón. Esto es así porque el largo medio de la fibra de lana es mayor que el de algodón. Los **espectrogramas normales** de cintas

y **mechas** presentan el máximo ligeramente desplazado a la derecha con respecto al de un **hilado**. Esto se debe a que en la etapa del proceso de hilandería correspondiente, el conjunto de fibras de una cinta o mecha no está aun bien resuelto o separado en fibras individuales

2.2.13- El espectrogramas con “chimeneas”

Hasta ahora hemos hablado de espectrogramas “**ideales**” y “**normales**”. Si alguna de las máquinas del proceso de hilandería por causa de un defecto mecánico, introduce una variación de masa **periódica estricta**, en el espectrograma aparecerán “**chimeneas**” de una altura proporcional al defecto. En general los espectrogramas tienen en cuenta variaciones periódicas que se presentan un mínimo de 25 veces en el largo de hilado ensayado, como estadísticamente aseguradas. Variaciones periódicas que se presentan entre 6 y 25 veces, no se consideran estadísticamente aseguradas y aparecen diferenciadas (*zona blanca o sin relleno del espectrograma*). Las variaciones que se repiten menos de 6 veces en el largo ensayado, no son tenidas en cuenta.

Como ejemplo, supongamos que en una hilandería de algodón, un rodillo del par de salida del último “manuar” tiene su sección ovalada en lugar de circular, como sería lo normal. Este rodillo, al girar, introducirá en la mecha dos variaciones de masa por giro. Si el diámetro de la sección del rodillo es de $D = 35$ mm, la longitud de onda de la variación de masa a la salida del “manuar” será: $\lambda = \pi D / 2 = \pi \cdot 35 / 2 = 54.9 \text{ mm} = 5.5 \text{ cm}$. La longitud de onda de este defecto aumentará luego con los estirajes subsiguientes. Por ejemplo, si el estiraje en “mechera” es 15 y en “continua” es 25, la variación de masa aparecerá detectada, en el espectrograma del hilado final, como una “chimenea” a :

$$\lambda = (\pi D / 2) \cdot E_m \cdot E_c = 5.5 \times 15 \times 25 = 2062.5 \text{ cm} = 20.6 \text{ m}.$$

Esto será así si hemos ensayado una longitud de hilado mayor a: $20.6 \times 25 = 515 \text{ m}$

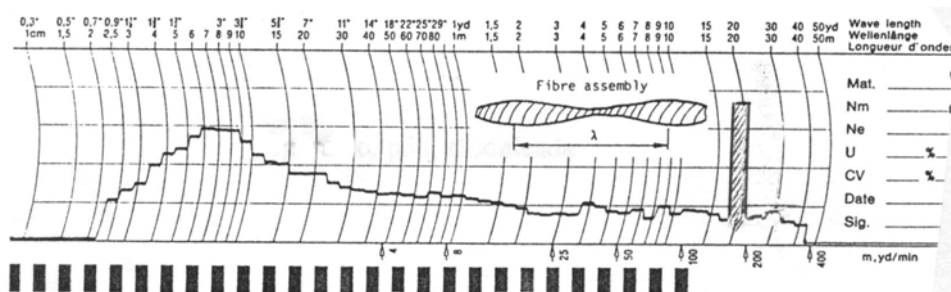


Figura 5.35

El defecto que hemos considerado produce una variación de masa **periódica estricta de tipo sinusoidal**, que es registrada en el espectrograma con una sola “chimenea”. Otros ejemplos de este tipo pueden ser estudiados en el Manual Uster (ref. 4.1.0)

Si la variación **periódica estricta** no es **sinusoidal**, el regularímetro realiza un análisis de **Fourier** y descompone la onda **no-sinusoidal** en una serie de ondas **sinusoidales armónicas** equivalentes. La Figura 5.36 muestra p.ej. como una onda **rectangular**, se puede componer aproximadamente, por una onda **sinusoidal base** y la primer onda **armónica** superior. Al agregarse las sucesivas armónicas superiores, la onda rectangular se puede reconstruir casi completamente. En el espectrograma aparecerán, además de la onda base, las armónicas superiores, cada vez más pequeñas (Figura 5.37).

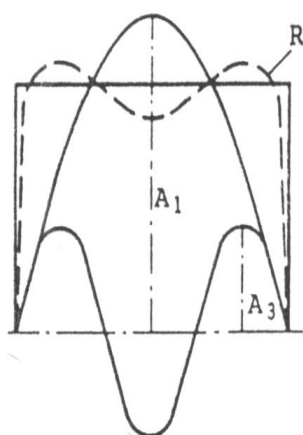


Figura 5.36 (ref 4.1.0)

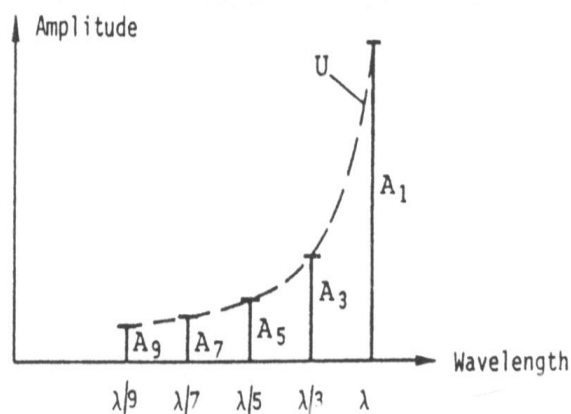


Figura 5.37 (ref. 4.1.0)

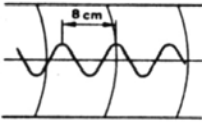
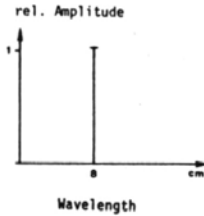
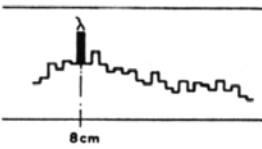

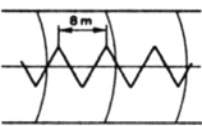
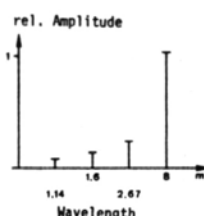
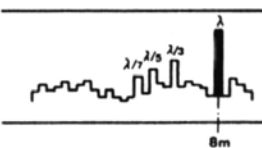

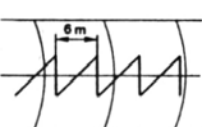
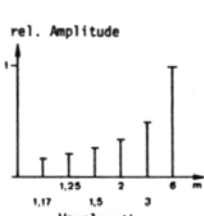
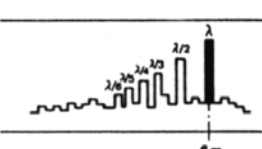
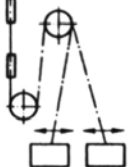
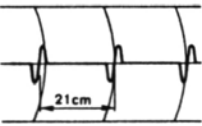
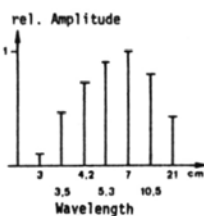
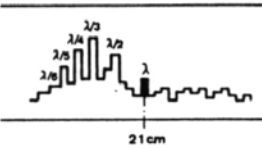

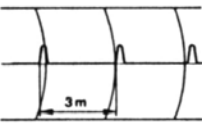
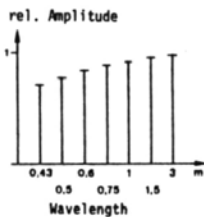
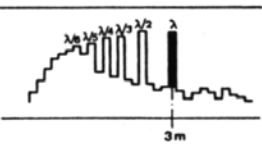
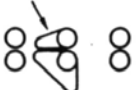
Las longitudes de onda λ de las armónicas superiores son siempre menores que la de la onda básica y por tanto, en el espectrograma, aparecerán como “chimeneas” ubicadas a la izquierda de la “chimenea” correspondiente a la onda base.

Para reconocer si una serie de “chimeneas” corresponden cada una a un defecto distinto o son las armónicas de un solo defecto basta con multiplicar la λ de cada supuesta armónica por 2, 3, 4, etc. y ver si se obtiene la λ correspondiente a la onda base.

Cuando la variación **periódica no-sinusoidal** es **simétrica**, como sería el caso de una onda rectangular, triangular, etc., aparecerán solo las armónicas superiores **impares**. Si es **asimétrica**, como p.ej. en forma de diente de sierra, o de impulsos no simétricos, etc., aparecerán **todas** las armónicas superiores, tanto **pares** como **impares**.

La *Tabla 5.4*, tomada del **Manual Uster** (ref. 4.1.0), resume las categorías más importantes de defectos que pueden ser registrados con el espectrograma. Un tratamiento más extenso de este tema se puede encontrar en el mencionado Manual.

TABLA 5.4

No.	Type of fault	Fault shape	Wavelength spectrum of the periodic fault	Spectrogram of the yarn	Type of fault (Example)
1	Periodic fault having a sinusoidal course exhibits only the <u>fundamental wave</u> in the wavelength spectrum.				 Eccentrically-running front roller of a ring spinning machine.
2	Periodic fault having a <u>symmetrical but non-sinusoidal</u> course exhibits the <u>fundamental wave</u> and the <u>odd-numbered harmonics</u> .				 Symmetrical yarn tension variation with reversal movement at the spinning package (synthetic filament yarn).
3	Periodic fault having an <u>asymmetric and non-sinusoidal</u> course exhibits the <u>fundamental wave</u> and both the <u>even and odd-numbered harmonics</u> .				 Asymmetrical yarn tension variation with reversal movement at the spinning package (synthetic filament yarn).
4	Periodic, impulse-shaped fault with <u>positive and negative parts</u> exhibits the <u>fundamental wave</u> , and both the <u>even and odd-numbered harmonics</u> . The fundamental wave is, in this case, represented by a peak which is <u>smaller</u> than its harmonics.				 Dirt or dust in the rotor groove of the OE-spinning machine.
5	Periodic, impulse-shaped fault with <u>only positive or only negative parts</u> exhibits the <u>fundamental wave</u> as well as the <u>even and odd-numbered harmonics</u> . The fundamental wave has the <u>highest amplitude</u> but the amplitude of the first harmonics nearly reach the height of the fundamental wave.				 Defective joint in the upper apron of a ring spinning machine.

2.2.14- Espectrogramas con “colinas”

En hilados hechos de fibras discontinuas el aumento de fibras “*flotantes*” o “*no controladas*”, debido a “*ecartamientos*” excesivos entre pares de rodillos de estiraje, genera “*ondas de estiraje*” o variaciones de masa “*casi periódicas no estrictas*”. Estas variaciones son registradas en el espectrograma como “*colinas*”, es decir aumentos de la amplitud del espectrograma *alrededor* de una longitud de onda media λ_m correspondiente a una variación “casi periódica”².

La longitud de onda media λ_m , que corresponde a la máxima amplitud de la “colina”, será de algún modo, función de la longitud media de la fibra l_w . Será también función de que el conjunto de fibras sea un hilado, una mecha o una cinta y λ_m dependerá de los factores k que aparecen en la *Tabla 5.5*.

TABLA 5.5 (ref. 4.1.0)

CONJUNTO DE FIBRAS	k
Hilado	2.75
Mecha	3.5
Cinta de peinadora	4.0
Cinta de “manuar” o “pasaje”	4.0

Ejemplo:

En un proceso de hilatura de algodón por sistema cardado, por defectos de “ecartamiento” en los campos de estiraje de la “mechera” y de la “continua” ($E_c = 25$), se producen “ondas de estiraje”. ¿A qué longitudes de onda aparecerán indicadas, en el espectrograma del hilado final, las variaciones de masa correspondientes a estas “ondas de estiraje”? El largo medio de la fibra de algodón es de $l_w = 30 \text{ mm}$

Solución:

$$\lambda_{\text{continua}} = k \cdot l_w = 2.75 \times 3.0 = 8.25 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{mechera}} = k \cdot l_w E_c = 3.5 \times 3.0 \times 25 = 262.5 \text{ cm} = 2.63 \text{ m}$$

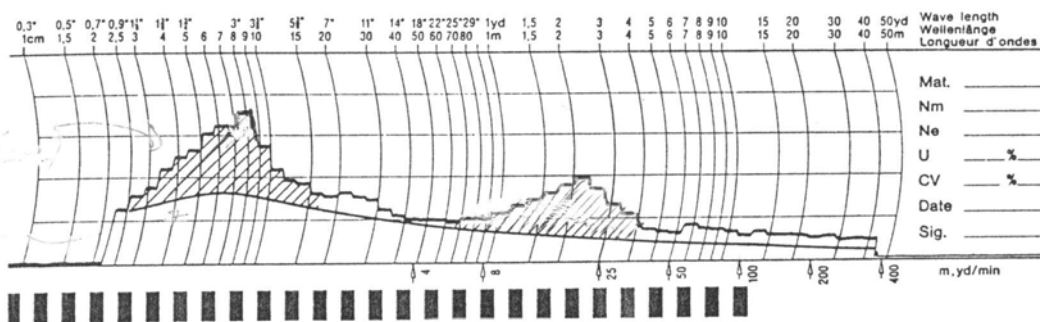


Figura 5.38

² En hilados de multifilamentos, también se pueden producir variaciones de masa que generan “colinas” en el espectrograma, cuando, p.ej., se producen variaciones periódicas no-estrictas de la presión del aire que enfría la masa del polímero, a la salida de la tobera o “spinirette”.

2.2.15- Aspecto de las telas tejidas con hilados con variaciones de masa periódicas

En la Figura 5.39, se representan algunos de los aspectos que pueden presentar las telas tejidas con hilados con variaciones “**periódicas estrictas**” de masa. El más frecuente es el “**moire**”. Las variaciones de masa “**casi periódicas**” producen otro tipo de defecto, más difuso, como una “**nubosidad**”

El aspecto de estos defectos, tanto en tejidos “planos” o de “punto”, dependerá de la longitud de onda del defecto, del título del hilado, del ancho de la tela, del tipo de fibra y de su afinidad tintórea, etc. (ref. 4.1.0).



Figura 5.39

2.2.16- El índice de “desviación de masa” (DR%)

La irregularidad de masa del hilado, si no es evitada durante el proceso y/o eliminada en la “purgadora”, producirá inevitablemente telas de mal aspecto. El “Índice DR” (“*Deviation Rate*”), que se obtiene con el regularímetro KEISOKKI KET 80B, nos permite estimar o prever el aspecto que tendrá la tela. El microprocesador del equipo registra en el **diagrama**, en modo operativo “*inert test*”, el **largo** de los segmentos de hilado que, a una dada sensibilidad, **traspasan** los límites de tolerancia, superior e inferior, fijados de antemano para la irregularidad de masa del hilado (ver Figura 5.40)

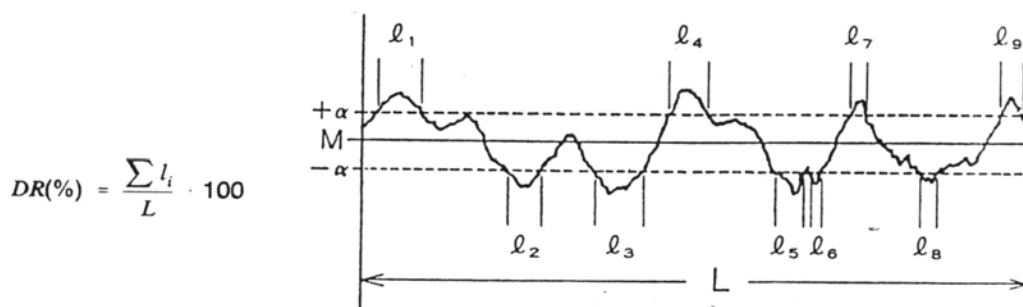


Figura 5.40 (ref. 4.2.0)

Un DR de 50%, p.ej., indica que la mitad de los metros del hilado ensayado superan los límites de tolerancia establecida.

El DR se determina en modo “*inert test*” pues, son los defectos del hilado de mayor longitud los que más influirán en el aspecto final de la tela. La mejor correlación del DR con el aspecto final de la tela se obtienen para una longitud de referencia mínima $L = 1.37$ m y una sensibilidad $\alpha = 5$ %

En la Tabla 5.6 se puede apreciar que a juzgar por el U%, la cantidad de puntos gruesos/ finos y “neps”, la muestra 4 sería la mejor. Sin embargo su DR% es el más alto y los tejidos obtenidos con este hilado resultan los de peor aspecto. La muestra 5, que tiene el menor DR%, es la que da tejidos de mejor aspecto.

TABLA 5.6 (ref. 4.2.0)

MUESTRA	U%	Mas fino (-50%)	Más grueso (+50%)	"Neps" (+200%)	DR% (1.37m, ∇5%)
1	14.75	16	14	15	47.91
2	15.06	13	16	9	44.13
3	15.13	16	12	3	47.11
4	14.84	6	7	6	50.82
5	14.88	15	8	6	41.16
Total	74.66	66	57	39	231.13
Promedio	14.93	13	11	7	46.22
Rango	0.38	10	9	12	9.66
Por 1000 m		105	91	62	

El KET 80B suministra tanto el valor de DR % por encima del límite de tolerancia superior como el valor por debajo del límite de tolerancia inferior, ya que según el tipo de tejido, uno u otro pueden tener una mayor correlación con el aspecto del tejido. El equipo KET 80 II/B, mas reciente, permite obtener el DR% para cuatro sensibilidades y cuatro longitudes de referencia.

Hemos visto (2.2.10) que para que aparezcan registrada una variación periódica en un **espectrograma**, es decir, para que el programa del equipo la considere "estadísticamente confiable", la longitud de onda λ de la variación tiene que ser, por lo menos, 6 veces menor que la longitud de la muestra ensayada. P. ej. si el hilado es ensayado a 400 m/min, durante 1 minuto, en el espectrograma pueden aparecer variaciones periódicas hasta un máximo de $\lambda = 60$ metros. Para encontrar variaciones periódicas de hasta 400 metros debo hacer un registro de por lo menos 5 minutos de duración, a la misma velocidad de ensayo

El **índice DR** tiene ventajas sobre el **espectrograma** cuando se trata de determinar variaciones de masa de largo periodo, pues es capaz de detectarlas en menores tiempos de ensayo. P. ej., en los espectrogramas de las Figuras 5.41 y 5.42, registrados ambos en las mismas condiciones (400 m/m, 5 min), no se detectan variaciones periódicas hasta las $\lambda = 60$ m. Sin embargo los valores de DR %, a distintas sensibilidades, que aparece en el registro de la Figura. 5.42 son mucho mayores que los correspondientes al registro de la Figura 5.41. Si ahora, para el hilado de la Figura 5.42, hacemos un espectrograma a la misma velocidad pero durante 5 minutos, (Figura 5.43) estaremos en condiciones de detectar defectos periódicos de hasta, aproximadamente, $\lambda = 330$ m. Encontramos ahora defectos periódicos que exceden los 100 m de longitud de onda y que ya habían sido sugeridos por los valores elevados de DR en el espectrograma previo, con un solo minuto de registro.

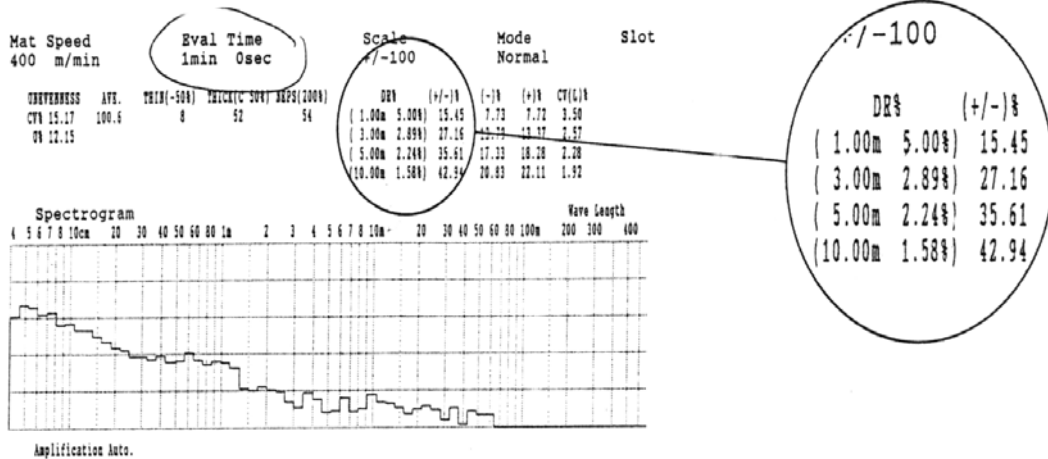


Figura 5.41 (ref. 4.7.0)

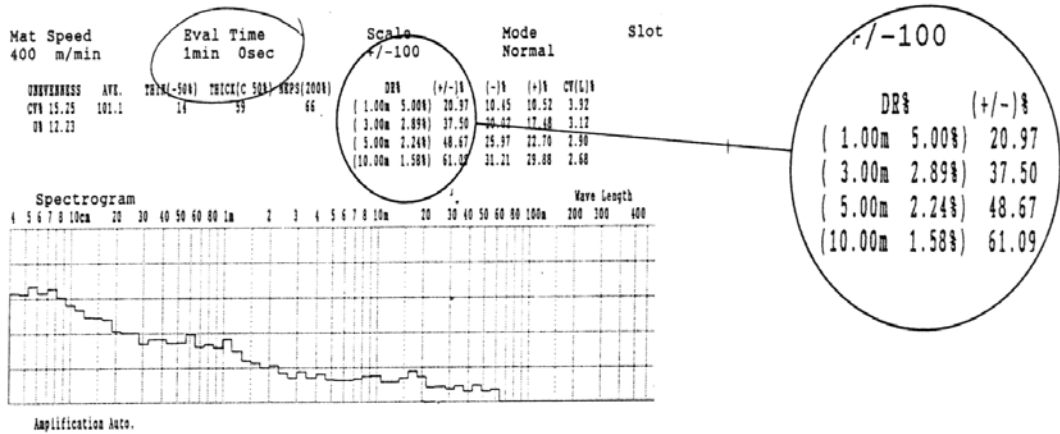


Figura 5.42 (ref. 4.7.0)

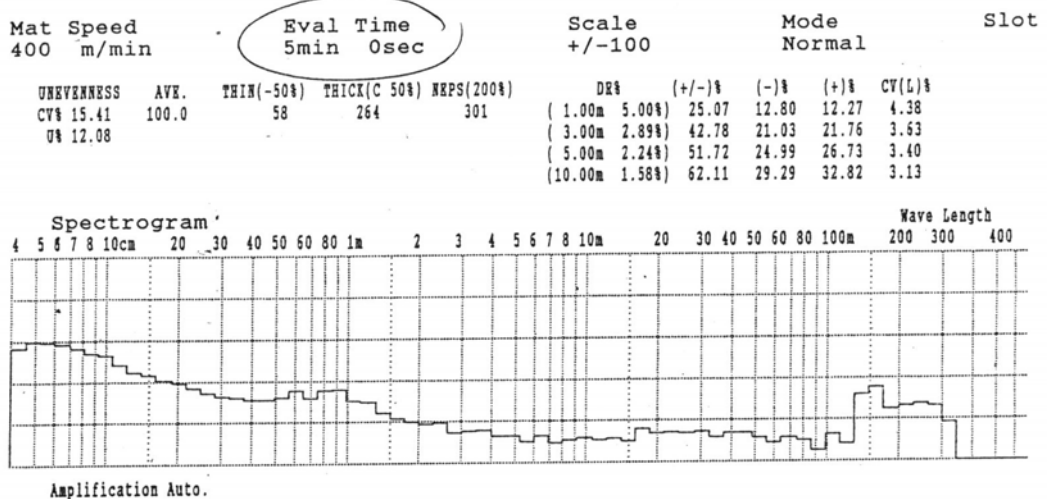


Figura 5.43 (ref. 4.7.0)

3.0.0- IMPERFECCIONES DEL HILADO

3.1.0- Registro de puntos finos, gruesos y “neps”

Las “**imperfecciones**” que presenta más frecuentemente un hilado son de tres tipos: “**puntos finos**”, “**puntos gruesos**” y “**neps**”. Estas imperfecciones se originan, en general, por causa de la materia prima o por problemas en el proceso de hilatura y afectan, según su tamaño, negativamente el aspecto final del hilado y de los tejidos. Como se comentó en la sección **2.2.2** estas imperfecciones no son fácilmente detectables en el **diagrama** y por ello el regularímetro las cuenta especialmente, por 1000 metros de hilado, con el “**indicador de imperfecciones**”.

Los **puntos finos** y **gruesos** son aquellas imperfecciones que, en por lo menos **4 mm** de largo, están dentro del rango $\pm 100\%$ con respecto al valor medio de la sección del hilado (*considerada ésta en los últimos 3 metros de ensayo*). Para cada sensibilidad, el **indicador de imperfecciones** contará como **puntos finos** o **gruesos**, a aquellos que tengan un largo entre **4 mm** y el **largo medio**, aproximadamente, de la fibra que compone el hilado (*ver Fig 5. 44*).

“**Nep**” es toda zona gruesa del hilado, de longitud inferior a 4 mm, cuya sección a lo largo de por lo menos **1 mm**, supera el límite **+100%** del valor medio de la sección del hilado. Para cada sensibilidad, el **indicador de imperfecciones** contará como “**nep**” a las zonas imperfectas que tengan un largo entre **1 y 4 mm**

El regularímetro **USTER II** tiene 4 sensibilidades para detectar cada tipo de imperfección, como se muestra en la Tabla 8:

TABLA 5.7 (ref. 4.1.0)

TIPO DE IMPERFECCIÓN	SENSIBILIDAD %	% del diámetro aparente del defecto en relación al valor medio	Visibilidad en el Filoscopio
PUNTO FINO	-60	40	-de 2-3 metros aprox.
	-50	50	-de 1 metro aprox.
	-40	60	-de muy cerca
	-30	70	-muy difícil de ver
PUNTO GRUESO	+100	200	-de varios metros
	+70	170	-de varios metros
	+50	150	-de muy cerca
	+35	135	-muy difícil de ver
“NEP”	+400	500	-de varios metros
	+280	380	-de varios metros
	+200	300	-de cerca
	+140	240	-de muy cerca

Se considera que solo los puntos gruesos mayores de 35% y los finos menores de 30% son apreciados claramente por el ojo humano. En general, la experiencia indica que hay una relación constante entre las imperfecciones contadas en los distintos niveles de sensibilidad.

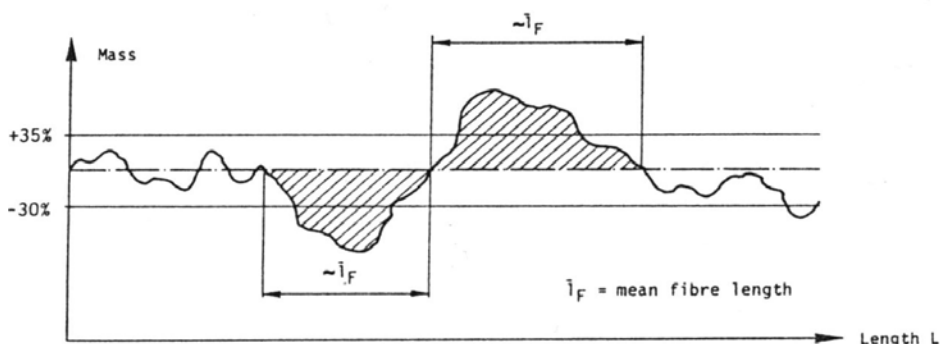


Figura 5.44 (ref.4.1.0)

Como ejemplo, en la *Tabla 5.8* y en la *Figura 5.45* se resume la cantidad de imperfecciones por 1000 metros, contadas en una gran cantidad de ensayos, de dos hilados de algodón de $N_m = 68$, uno cardado y otro peinado.

TABLA 5.8 (ref. 4.1.0)

MATERIAL	PUNTOS FINOS				PUNTOS GRUESOS			
	-60%	-50%	-40%	-30%	+35%	+50%	+70%	+100%
Algodón	-60%	-50%	-40%	-30%	+35%	+50%	+70%	+100%
Cardado	1	22	438	3288	2646	894	168	42
Peinado	0	0	20	594	510	68	8	0

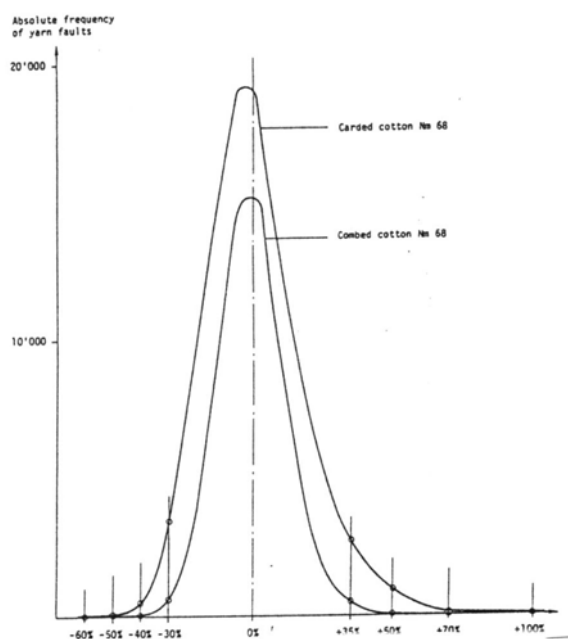


Figura 5.45 (ref.4.1.0)

Los puntos finos no son necesariamente puntos débiles del hilado, pues son los que reciben mas cantidad de torsión. En cambio los puntos gruesos reciben menos torsión y sí pueden ser un punto de menor resistencia a la tracción.

Los “neps”, por otra parte además de afectar en forma considerable el aspecto final del tejido, pueden crear serias dificultades en el proceso de tejeduría, especialmente en la de punto, y por tanto es muy importante evitarlos, mantenerlos bajo control y, en lo posible, eliminarlos con el purgado.

La aparición de “neps” puede ser debida a la materia prima o al proceso mismo de hilatura. En la hilatura de algodón los “neps” son causados por las impurezas vegetales y por fibras inmaduras.

En el caso de la lana y de las fibras químicas, la influencia de la materia prima en la formación de “neps” es mínima o inexistente. El cardado es, en general, la operación de hilatura donde se producen más “neps” por guarniciones defectuosas, “settings” y velocidades inadecuadas, etc. En el caso del algodón, la operación de “desmotado” o “ginning” es también, muchas veces, causante de la formación de “neps”.

El control permanente de la cantidad de imperfecciones por medio de “gráficos de control”, la aplicación de métodos estadísticos como la determinación de rangos de confianza, test de significación, etc. son de gran importancia para el logro de una alta calidad de los hilados (ver ref. 4.1.0)

3.2.0- Clasificación de las imperfecciones. Equipos “Classimat” y “Classifault”

Las mayores exigencias del mercado en cuanto a la calidad de los tejidos y la necesidad de mejorar la productividad de las hilanderías ajustando adecuadamente los equipos de “purgadores”, llevó al desarrollo de equipos **clasificadores de imperfecciones** como el “**Classimat**” de USTER y el “**Classifault**” de KEISOKKI.

El “**Classimat I**” consta básicamente de 6 unidades sensoras, para el ensayo simultáneo de 6 conos de hilados, que trabajan a velocidades constantes de 400 a 600 m/min. Los sensores no solo **cuentan** las cantidades de defectos por 100.000 metros de hilado sino que además los **clasifican** , en 16 tipos distintos por su largo y por su diámetro aparente, en relación al diámetro aparente medio del hilado (ver Figura 5.46).

El “**Classimat II**” amplió las clases de imperfecciones a 23 y el “**Classifault II**” de KEISOKKI a 40. El **Classifault II** compara la longitud de la imperfección contra un “factor de longitud” y discrimina si debe contarlos como **imperfección** o considerarlo como una **irregularidad** del hilado.

Los equipos de clasificación de imperfecciones son muy útiles para establecer correlaciones entre estas y el aspecto final de los tejidos. Permiten regular con precisión el “corte” en “purgadoras”, comparar la calidad de diferentes partidas de materia prima, evaluar la “performance” de diversos accesorios de los equipos de hilandería, como bandas de goma, anillos, cursores, etc. (ref. 4.2.0)

La firma GEBRÜDER LOEPFE AG ofrece pequeños módulos de lectura óptica “on line”, para ubicar en cada posición de la continua de anillos. Se registran entonces, en cada “canilla” los defectos del hilado (*irregularidad de masa, puntos gruesos y finos, “neps” y pilosidad*). El sistema “Yarn Master Spectra” de LOEPFE permite clasificar estos defectos y, además, identificar la posición o huso de donde proviene (*por la lectura de un código de barras en la base de cada “canilla”*). Esto permite ubicar, en forma precisa, husos, anillos, cursores, etc., etc. causantes de defectos en el hilado y por tanto realizar un mantenimiento más eficiente. LOEPFE ofrece diferentes modelos del sistema “Yarn Master” para el purgado óptico-electrónico de los defectos del hilado.

3.3.0- Evaluación de la pilosidad de los hilados

La “**pilosidad**” de un hilado es de gran importancia pues afecta el tisaje, el aspecto y tacto final de las telas, la nitidez de los estampados, etc., etc. Las fibras más gruesas, rígidas y cortas producen mayor “pilosidad” que las finas, largas y menos rígidas. La forma de la sección transversal y la resistencia a la tracción de la fibra, la fricción interfibrilar, la cantidad de torsión aplicada, los estirajes altos, los rodillos de estiraje con revestimientos inadecuados, los “manguitos” defectuosos, los locales excesivamente secos y la carga estática generada por rozamiento también inciden en la formación de “pilosidad”.

Los métodos de determinación de la “pilosidad” son básicamente de dos tipos: **1) gravimétricos**, que consisten en pesar el hilado antes y después de chamuscarlo, para quemar la pilosidad y, **2) ópticos**, con los que se proyecta o se observa microscópicamente y, luego se cuentan y registran las fibras que sobresalen por unidad de longitud (ref. 4.2.0). El “índice de superficie” **SFI**, introducido por **LOEPFE**, es la suma de señales ópticas que sobresalen de un hilo en una longitud de medición de 1 cm. El índice **SFI/D** es la suma de señales ópticas de las fibras que sobresalen del diámetro del hilo, que se fija en 100%. Estos índices son adimensionales. La empresa **LOEPFE** ofrece también equipos para la detección óptica de fibras extrañas en hilados.

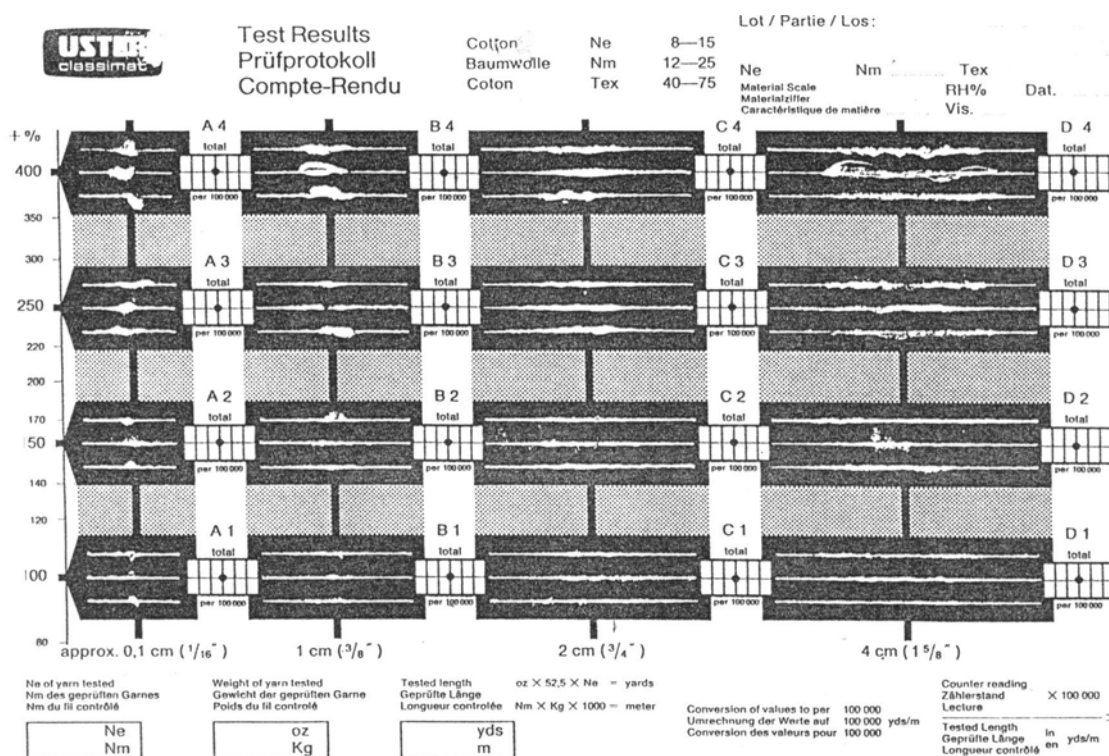


Figura 5.46 (ref. 4.2.0)

4.0.0- BIBLIOGRAFÍA

- 4.1.0- "USTER Evenness Testing Application Handbook"
- 4.2.0- "Parametría de Hilos", Feliu Marsal et col., Edicions UPC, 1994
- 4.3.0- "USTER News Bulletin", N°35, Abril 1989
- 4.4.0- Calculation of the variance-length curve for an ideal sliver; H.Olerup; Journal de Textile Institute, 1952
- 4.5.0- The Calculation of the variance-length curve from the length distribution of fibres; H.Breny; Journal of the Textile Institute, January 1953
- 4.6.0- "Cotton Testing" R.G. Steadman, Textile Progress, Vol. 27, N° 1, The Textile Institute, 1997
- 4.7.0- "Evenness Tester KET-80II Series", Keisokki, 1995
- 4.8.0- "Monitoring and Testing of Manufactured Fibres", D.K. Wilson, Textile Progress, Vol. 28, N° 2, The Textile Institute, 1998.

5.0.0- PREGUNTAS Y EJERCICIOS DE EVALUACIÓN

1- Una hilandería trabaja con el proceso que se resume más abajo. La materia prima utilizada es lana de 20μ de finura, con un largo promedio de 70 mm **a)** ¿Cuál será el título final del hilado, expresado en Nm? **b)** ¿Qué cantidad de torsiones / metro recibe el hilado? **c)** ¿Qué coeficiente de torsión K tendrá el hilado y para que uso final será más adecuado? **d)** En el equipo USTER III del laboratorio de la planta se encontró un CV de 15.64 % para la irregularidad de masa del hilado, ¿cuál será su índice de irregularidad "I" ? De acuerdo a ese índice de irregularidad I y a las estadísticas de la casa Uster, ¿en que grupo de calidad estaría ubicada la hilandería? **e)** En la misma hilandería, el cuarto "pasaje", después del repeinado, tiene un ecartamiento excesivo en el tren de estiraje principal y uno de los rodillos del par delantero está excéntrico (diámetro del rodillo, 45 mm). Dibuje el aspecto aproximado que tendría el espectrograma de la mecha que sale del cuarto "pasaje".

PROCESO

MATERIA PRIMA. "Tops" sin teñir de 25 ktex. Fibra de 20μ , $l_m = 70$ mm

- 1- Teñido y Secado.
- 2- 1er.Pasaje ("gill Intersecting"). Doblado: 8, estiraje: 8
- 3- 2do.Pasaje ("gill Intersecting"). Doblado: 8, estiraje: 8

REPEINADO

- 4- Peinadora. Doblado: 12. Estiraje: 12
- 5- Pasaje "vaciatachos". Doblado: 7. Estiraje: 8
- 6- Pasaje "finisser". Doblado: 7. Estiraje:8

PREPARACION

- 7- 1er. Pasaje. Doblado: 8. Estiraje: 8
- 8- 2do.Pasaje. Doblado: 7. Estiraje: 8
- 9- 3er. Pasaje. Doblado: 4. Estiraje: 8
- 10- 4to. Pasaje. Doblado: 4. Estiraje: 8
- 11- Finisser. Doblado: 2. Estiraje: 12
- 12- CONTINUAS DE ANILLO. Estiraje: 25, rpm del huso :13800, entrega: 20 m/min

a) Título: $25000 / (8/7) \times (8/7) \times (8/7) \times (8/4) \times (8/4) \times (12/2) \times 25 = 27,9 \text{ tex}$, $1000 / 27,9 = 35,8 \text{ Nm}$

b) Torsiones: $13.800 \text{ rpm} / 20 \text{ metros por min} = 690 \text{ T / m}$

c) Coeficiente de torsión: $K_{\text{ind. de torsión}} = (T/m) / \sqrt{\text{Nm}} = 690 / \sqrt{35,8} = 690 / 5,98 = 115,38$

d) Índice de Irregularidad:

Tex (hilado) = 27,9

Tex (fibra) = $0.00103 \times d_f^2 = 0.00103 \times 20^2 = 0.41$ ($d = \text{diámetro fibra en } m\mu$, ver pág. 98)

$n = 27,9 / 0.41 = 68$ fibras por sección

$CV_{lim} = 112 / \sqrt{n} = 112 / \sqrt{68} = 13,6$ (ver expresión para el CV_{lim} de lana, pág. 98)

$I = 15.64 / 13,6 = 1.15$ (nivel del 95 % en la estadísticas USTER)

e) Espectrograma

$l_{media} = 70 \text{ mm} = 7 \text{ cm}$

k ("comber sliver") = 4.0 (del manual USTER II, ver pág. 123)

$\lambda_{estiraje} = 7 \times 4.0 \times 1.143 = 32.0 \text{ cm}$

$\lambda_{rodillo} = 4.5 \times 3.1416 \times 1.143 = 16.16 \text{ cm}$ (el rodillo excéntrico produce 1 defecto)

Cúspide de la colina del espectrograma normal: $7 \times 2.82 = 19.74 \text{ cm}$ (ver pág. 119)

2) El CV de masa de 18.15 % es la media de las determinaciones hechas en 20 bobinas correspondientes a una partida de 10000 bobinas. Los resultados obtenidos fueron: 17.30 18.10 17.40 18.40 17.91 18.52 17.04 18.92 18.63 18.05 17.64 18.87 18.46 17.80 17.98 18.54 18.27 18.75 18.38 18.05 Si se quiere estimar el valor medio del CV +/- 0.05 ¿considera que el tamaño de la muestra tomada es suficiente? Las mismas muestras fueron ensayadas en otro equipo similar pero de otro laboratorio y se obtuvo un CV de masa de 19.87 % con una desviación standard de 0.48 ¿La diferencia de resultados es estadísticamente significativa?

CAPITULO VI

TEJEDURÍA



CONTENIDO	PAGINA
1.0.0- Introducción.....	141
2.0.0- Tejeduría plana.....	141
3.0.0- Tejeduría de punto.....	169
4.0.0- Telas “no tejidas”.....	180
5.0.0- La “mano” y la “caída” de las telas.....	184
6.0.0- El encogimiento de las telas.....	187
7.0.0- La formación de “pilling” en las telas.....	188
8.0.0- Propiedades que influyen en el “confort”	189
9.0.0- El cuidado de las prendas textiles.....	190

1.0.0- INTRODUCCIÓN

Las telas puede dividirse en cuatro grandes grupos: **1)** las **telas “planas”**, en la que dos conjuntos de hilos se entrecruzan perpendicularmente, **2)** los **tejidos de punto** en la que numerosos bucles o vueltas de uno o varios hilos se entrelazan entre sí (“**puntos**”), **3)** los **trenzados** (*en inglés “braided”*) donde tres o más hilos se cruzan unos a otros en un diseño diagonal para formar artículos generalmente de poca anchura y **4)** las telas **“no tejidas”** o **“guatas”** que se producen por la unión directa de fibras (*afieltrado, entrelazado, punzonado, adhesión y/o termofusionado de las fibras entre sí*).

Las tecnologías correspondientes a los tres primeros tipos de telas aparecen en el Neolítico y, a partir de la Revolución Industrial, avanzan rápidamente gracias al desarrollo de máquinas de tejer mecánicas y al desarrollo de la electrónica y la informática (*ver Capítulo 1, “Origen y Evolución de la Tecnología Textil*). Las telas **“no tejidas”**, salvo los **fieltros de lana** conocidos desde antiguo, son de aparición más reciente y actualmente son de gran importancia debido a sus aplicaciones en la industria, en la medicina, etc.

2.0.0- TEJEDURÍA “PLANA”

La tejeduría “plana” como ya señalamos consiste básicamente en el entrelazado perpendicular, en máquinas de tejer (*llamadas habitualmente “telares”*), de dos tipos de hilos, la **urdimbre** y la **trama**. Los hilos de **urdimbre** son paralelos al orillo de la tela y los de **trama** se insertan perpendicularmente a los de **urdimbre**.

2.1.0- MECANISMOS DEL TELAR

Los **mecanismos básicos** de un telar son la **1) “apertura de la calada”**, **2) “inserción de trama”** y, **3) “batanado” o apretado de la trama** (*ver Figuras 6.1 a 6.6*). Los telares modernos cuentan además con controles electrónicos de rotura de hilos, cambio del hilo de trama, confección del orillo, programación del diseño, etc.

1-El mecanismo de apertura de la calada (*separación alternada de los hilos de urdimbre para permitir el pasaje de la lanzadera portadora del hilo de trama*) puede ser muy sencillo como el que se logra con un **listón** de madera que, en los telares manuales, se intercala en forma plana entre los hilos de urdimbre y que, al rotarlo 90°, separa los hilos pares de los impares, abriendo la calada. En la calada siguiente se tira desde arriba del conjunto de hilos pares o impares, abriendo otra calada (*ver figura 6.1*).

El paso siguiente fue incorporar los **“cuadros” o “lizos”**, que soportan unas delgadas láminas metálicas, las **“mallas”** (*a veces también llamadas “lizos”*), que en la mitad de su longitud tienen un orificio u **“ojalillo”**, por donde pasa un hilo de urdimbre. Debe haber, por lo menos, tantos “mallas” como hilos de urdimbre. Para la tela de ligamento más sencilla, la tafeta (*ver figura 6.2*), se utilizan dos cuadros, uno para los hilos pares y el otro para los impares. Estos **“cuadros”** se pueden levantar y bajar con pedales movidos por los pies del tejedor. Un desarrollo posterior es el de los telares a **“tirantes”**, en los que un operario auxiliar levanta una gran cantidad de “cuadros”, cuando la complejidad del diseño a tejer así lo requiere.

Modernamente se desarrollaron las **“maquinillas de excéntricas”** y las **rattieras electrónicas** capaces de levantar de 18 a 28 cuadros (*ver Figuras 6.36 y 6.37*). Finalmente en el telar creado por *Joseph Marie Jacquard (1752-1834)* en Lyon, alrededor de 1810, el mecanismo de apertura de la calada es capaz de levantar, por medio de tirantes, cada hilo de urdimbre (*ver Figuras 6.29, 6.30 y 6.31*). De esa manera se pueden tejer diseños de gran complejidad. En los modernos

telares Jacquard el diseño se programa y controla por ordenador (ver Capítulo 1, “Origen y Evolución de la Tecnología Textil”). Recientemente se han lanzado al mercado **telares de múltiple calada** con los que se pueden alcanzar velocidades de producción muy altas (ver figuras 6.49 a 6.52).

2- La evolución de los mecanismos de inserción de trama ha sido también muy interesante. En los **telares de lanzadera artesanales** la lanzadera es pasada manualmente a través de la calada. En los **telares de lanzadera mecánicos**, que se desarrollan durante la Revolución Industrial del siglo XVIII, la lanzadera pasa a ser impulsada por golpes de “martillo” (ver figura 6.5), alcanzándose entonces velocidades de inserción de trama de unos 300 a 400 metros por minuto, con 120 a 200 *pasadas de lanzadera por minuto* o **ppm** (dependiendo del ancho de la tela). La “**canilla**” que contiene hilo de trama, va colocada en un hueco dentro de la lanzadera. El cambio de “**canillas**” vacías se automatiza por primera vez con los telares americanos **Northrop**, que incluyen un “magazine” giratorio que las va cambiando por otras llenas.

La velocidad de inserción de trama aumentó con la aparición de los **telares sin lanzadera**. Estos pueden clasificarse en: **1) telares de pinzas** (“*rapier looms*”). En estos, dos espadines (*rapier rígidos*) o dos cintas flexibles enrolladas a cada lado del telar (*rapier flexibles, que se desenrollan y enrollan alternativamente en cada ciclo*), penetran en la calada por ambos lados y, con pinzas que tienen en sus extremos, se pasan el hilo de trama en la mitad del recorrido, **2) telares de proyectil**, en los que la punta de trama viaja transportada por un proyectil, que pesa unos 35-40 gramos, impulsado desde cada lado del telar, y **3) telares jet, de aire o de agua**, en los que la punta de trama viaja a gran velocidad transportada por volúmenes de aire o agua, según el caso, respectivamente. El aire o el agua se inyecta desde toberas ubicadas a lo largo de la calada (ver Figuras 6.38 a 6.46). En los **telares sin lanzadera** la apertura de calada es más pequeña. Por tanto los hilos de urdimbre sufren menos tensión y no es necesario insertarles tantas torsiones ni, a veces, encolarlos. Se producirán también menos paros del telar por rotura de hilos de urdimbre. **En suma se bajan costos y se aumenta la productividad.** En los de última generación, tanto los mecanismos básicos como los auxiliares son **programables por microprocesadores** de forma que se puede optimizar secuencias, introducir y almacenar datos “on line”, etc.

TABLA 6.1

TIPO DE TELAR <i>Clasificados según su mecanismo de inserción de trama</i>	AÑO Aprox.	Inserción de Trama		Algunos tipos de telas que se pueden producir
		Pasadas ppm (1)	Velocidad m/min (2)	
de lanzadera, artesanal <i>“Hand loom”</i>	<i>Antes de 1800</i>	60	100	Telas artesanales
de lanzadera, mecánico <i>“Power loom”</i>	<i>Después de 1800</i>	230	350	Todo tipo de telas
de pinzas <i>“Rapier loom”</i>	1950	550	1000	Telas de alta moda para damas, camisas, livianas de lana y algodón, etc.
de proyectil <i>“Projectile loom”</i>	1960	700	1200	Tejidos livianos de alta calidad, livianos, denim, etc.
“jet” de aire <i>“Air jet weaving machine”</i>	1970	1000	1800	Telas standard para tapicería, cortinas, colchones, etc.
“jet” de multicalada <i>“Multished air jet loom”</i>	2000	3333 (3)	5000 (3)	Telas industriales p. ej. de fibra de vidrio y otras

(1) Valores promedio aproximados, (2) suponiendo 1,50 m el ancho de tela, (3) considerando todas las caladas

3- El “**batanado**” o “**apretado de la trama**” es el otro mecanismo básico del telar. El “**batán**” es una pieza móvil oscilante que tiene un “**peine**” por el que pasan los hilos de urdimbre. El “**batán**” se retira hacia atrás para permitir la apertura de la calada y la inserción de la trama. En el instante en que la calada se cierra y antes de que se vuelva a abrir, el “**batán**” avanza y aprieta el hilo de trama recién insertado contra los insertados anteriormente. De esa forma la tela va creciendo en longitud y va formando un rollo en el frente del telar (ver Figura 6.6). En la Tabla 6.2 se indican otros **mecanismos auxiliares** (no básicos), de los modernos telares sin lanzadera.

TABLA 6.2
ALGUNOS MECANISMOS AUXILIARES DE LOS TELARES MODERNOS

1-	Reguladores y tensores de hilos de urdimbre con comando electrónico
2-	Para-urdimbres o detectores de roturas de hilos de urdimbre
3-	Regulador y controlador de altura de rizo del hilo de urdimbre (para tejidos de rizo)
4-	Alimentador automático de bobinas de trama
5-	Freno y regulador de tensión del hilo de trama
6-	Contador electrónico de trama
7-	Eliminador de roturas de trama
8-	Selectores electrónicos de hilo de trama para cambiar tipo y color de hilado
9-	Reguladores de avance de la urdimbre y enrollado de la tela
10-	Dispositivo para tejer el orillo
11-	Teclado de terminal operativo para introducir datos al microprocesador

2.2.0- PRODUCCION DE UN TELAR

Supongamos una tela diseñada para que tenga una cuenta de 20 hilos/cm en trama y que el hilado a emplear tiene un diámetro aparente de 0,5 mm. Si el hilado no sufre compresiones laterales, la cantidad máxima de pasadas por metro serán: $20 \times 0,5 \times 100 = 1000$. El encargado de tejeduría regulará entonces, por medio de mecanismos apropiados, el avance de la urdimbre a 1000 pasadas de trama por metro. La **producción** del telar se podrá calcular si conocemos la **velocidad de inserción de trama** expresada en **pasadas por minuto (ppm)**¹. Si se trata p.ej. de un telar de lanzadera con una velocidad de inserción de trama de 250 *pasadas por minuto*, con una *eficiencia* de 75%, tendremos que la producción en **metros lineales de tela por hora** será: $[(250 \text{ pasadas/minuto}) / (1000 \text{ pasadas /metro})] \times 60 \times 0,75 = 11,25 \text{ metros / hora}$. Como se puede apreciar la producción de un telar de lanzadera es muy baja. Sugerimos, como ejercicio, que el estudiante calcule la producción, en metros lineales por hora, para telas de distintas “cuentas”, cuando se tejan en los telares indicados en la Tabla 6.1

¹ La velocidad de inserción de trama se puede expresar también en **metros por minuto** multiplicando las **pasadas por minuto** por el **ancho** de la tela. P.ej. si la tela es de 1,50 metros de ancho, tendremos $250 \times 1,50 = 375 \text{ metros / minuto}$

2.3.0- URDIDO Y ENCOLADO

Cualquiera sea el tipo de telar, la **urdimbre** debe prepararse previamente en una máquina especial o “**urdidora**”. Para ello se colocan, en un soporte para bobinas o “**fileta**” (Fig. 6.26) las bobinas correspondientes a la cantidad de hilos de urdimbre que tendrá la tela (*urdidoras directas*) o una sección o “**faja**” de urdimbre (*urdidoras seccionales*). Luego se pasa cada hilo de urdimbre por un “peine” o guía hilos y finalmente se enrollan directamente a un **porta-urdimbre** (*urdidoras directas*) o por secciones o “**fajas**” a un tambor intermedio (*urdidoras seccionales*) (Fig. 6.7). La urdimbre así preparada generalmente se “**encola**” en una “**encoladora**”, es decir se impregna con gomas o colas especiales (ver Figura 6.8).

Los encolantes más usados, especialmente para urdimbres de hilos de algodón, son soluciones de almidón o dextrinas, pero también pueden usarse encolantes artificiales (p.ej. a base de *carboximetilcelulosa*) y sintéticos. La urdimbre, enrollada en un “**porta-urdimbre**” o “**plegador**”, se va desenrollando y pasa, en forma continua, por una batea donde **se impregna** con la solución encolante. Se exprime luego entre dos rodillos y, finalmente, **se seca**, también en forma continua, en una “rama” o túnel de aire caliente. Con el encolado se trata de aumentar la resistencia a la tracción y a la abrasión de los hilos de urdimbre, para que estos resistan el esfuerzo al que serán sometidos durante la apertura de la calada. Una vez tejida y antes de teñirla, la tela debe “**desencolarse**”, es decir se deben retirar los restos de encolante de los hilos de urdimbre, para evitar tinturas de mala calidad y desaparejas (ver Capítulo 7, “Procesos Húmedos”).

Las urdidoras pueden ser “**directas**” o “**seccionales**”. Las urdidoras **directas** generalmente se utilizan para urdimbres destinadas a telas de diseño sencillo, con menos del 15% de hilos de color. En cambio, cuando es necesario armar urdimbres de gran cantidad de hilos con más del 15% de hilos de color, es más conveniente el urdido por “**fajas**” o por “**secciones**”. Estas “secciones” o “fajas” se van enrollando una al lado de la otra en el tambor de la urdidora. Este tambor tiene forma ligeramente cónica para que las “secciones” no se corran y enreden al pasarlas al “**porta-urdimbre**” o “**plegador**” en la operación siguiente. Si por ejemplo, se desea hacer una urdimbre de 10.000 hilos de una sola vez, en una urdidora “directa”, se necesitaría una fileta de 10.000 bobinas la que ocuparía un área de la planta muy grande y sería muy difícil de armar y mantener.

El “**plegador**” con la urdimbre ya encolada se coloca en la parte trasera del telar y se “arma” el telar pasando cada uno de los hilos de urdimbre por los **ojalillos** de los **lizados** o de los **tirantes**, (según el tipo de mecanismo de apertura de la calada) (ver Figura 6.35). Esta tarea manual es muy laboriosa pero, actualmente existen máquinas “**pasalizados**” que realizan ese trabajo automáticamente. Una vez que el telar está “armado” se colocan las “**laminillas**”, pequeñas piezas de metal que van montadas sobre cada hilo de urdimbre y que, cuando se corta accidentalmente uno de esos hilos, caen y ponen en acción un sistema electrónico (“**mecanismo para-urdimbre**”) que detiene el telar hasta que se repara el hilo cortado (ver Figura 6.47).

Para alcanzar una alta productividad, los telares de una tejeduría industrial moderna no deberían tener más de **6 paros por 100.000 pasadas**. Para lograr esto es imprescindible que, además de utilizar hilados de calidad adecuada, **las operaciones de urdido y encolado se realicen con extremo cuidado**.

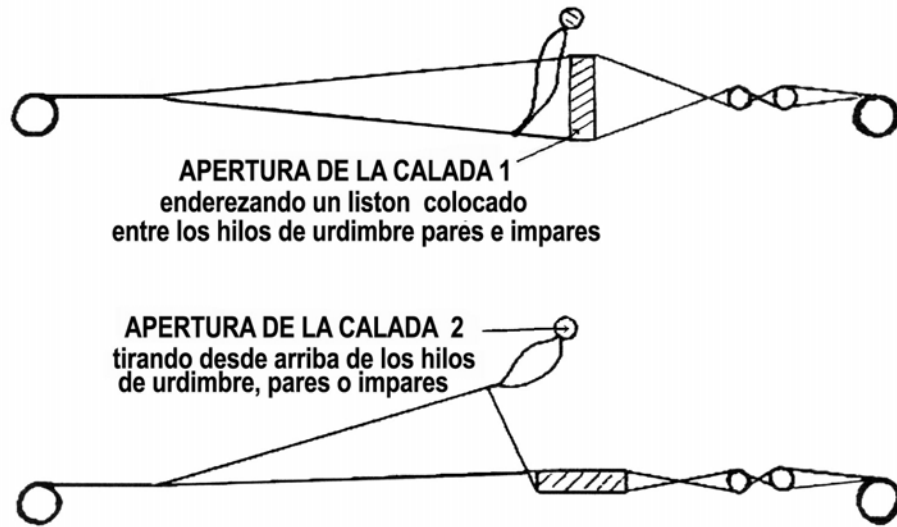


Figura 6.1 – Apertura de la calada con listón y tirantes

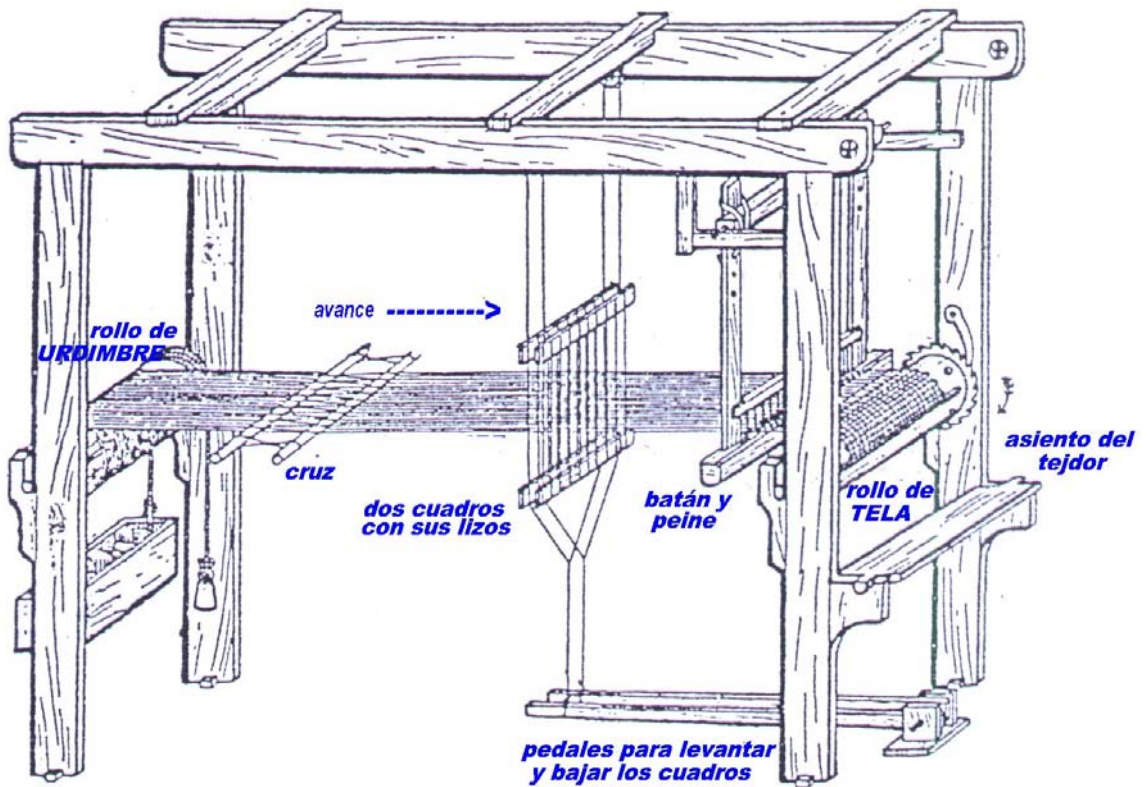


Figura 6.2- Telar artesanal con cuadros y lizos

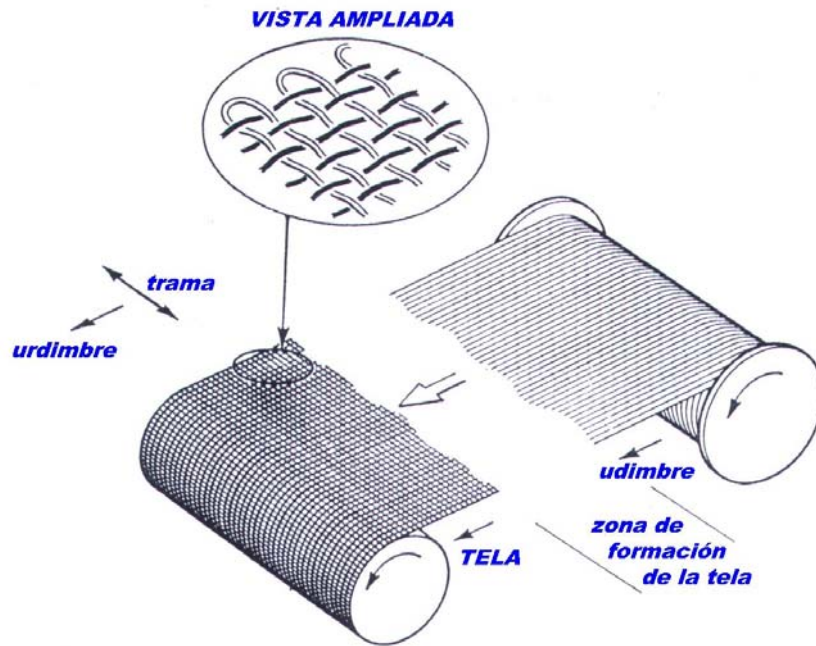


Figura 6.3 - URDIMBRE Y TRAMA

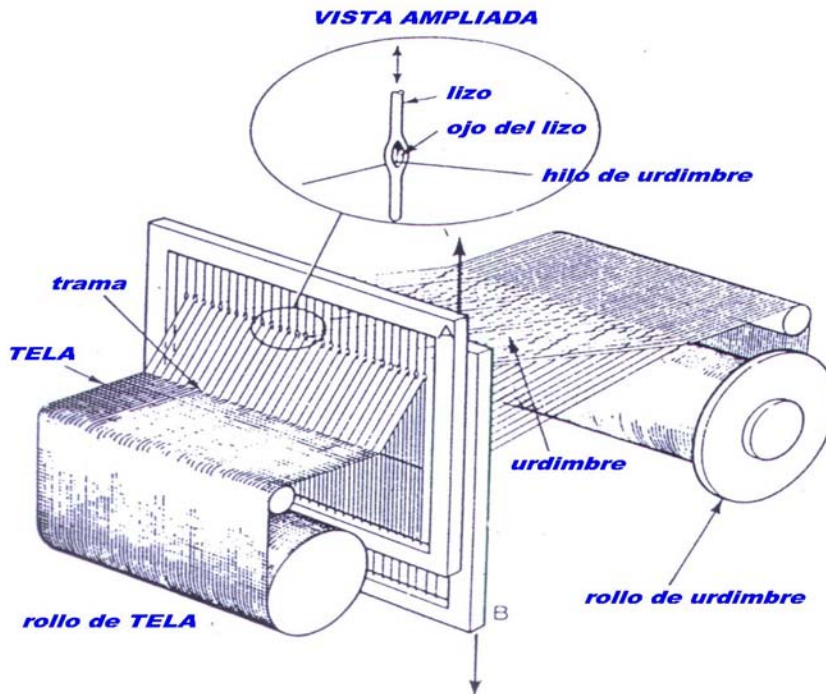


Figura 6.4 - APERTURA DE LA CALADA

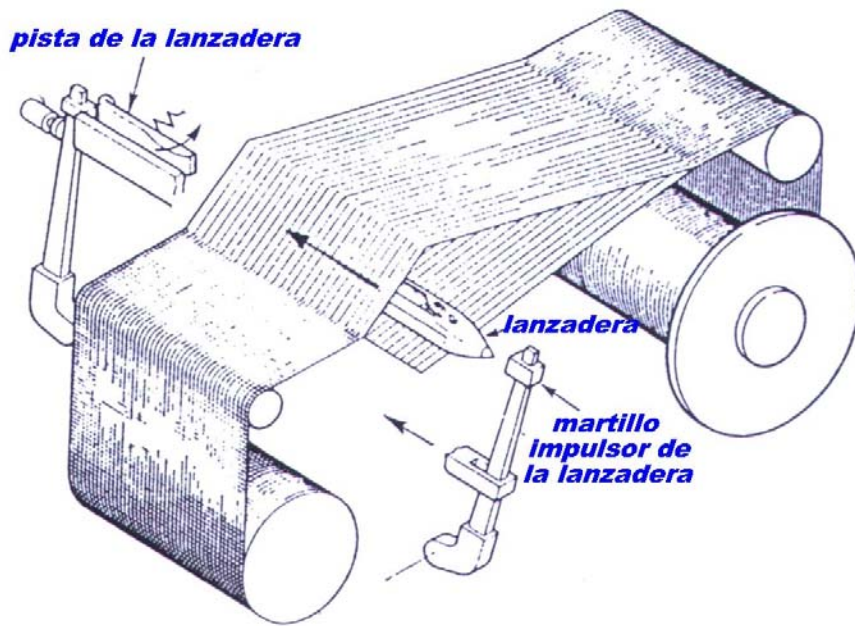


Figura 6.5 - **INSERCIÓN DE LA TRAMA EN UN TELAR DE LANZADERA**

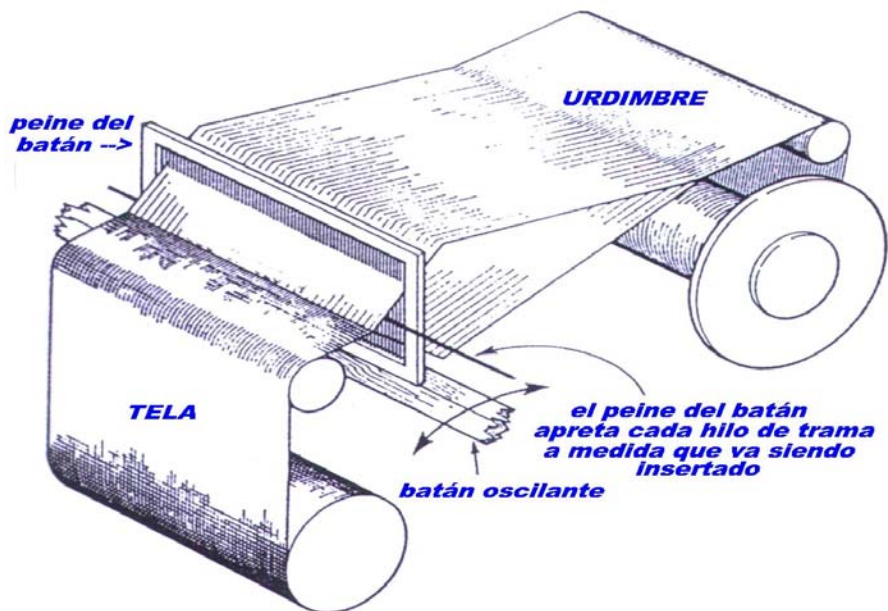


Figura 6.6 - **BATANADO DE LA TRAMA**

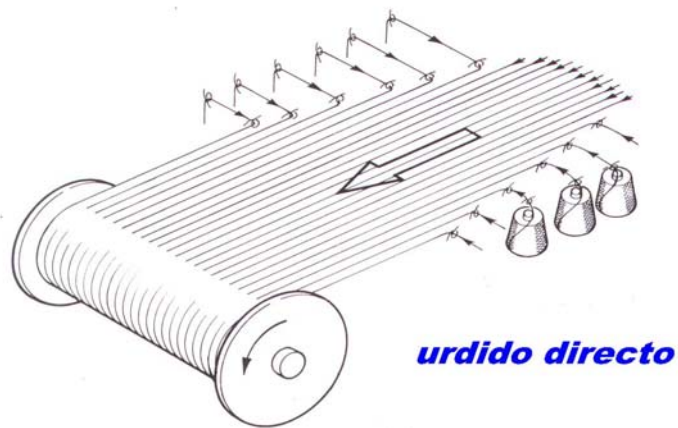


Figura 6.7 - **URDIDO**

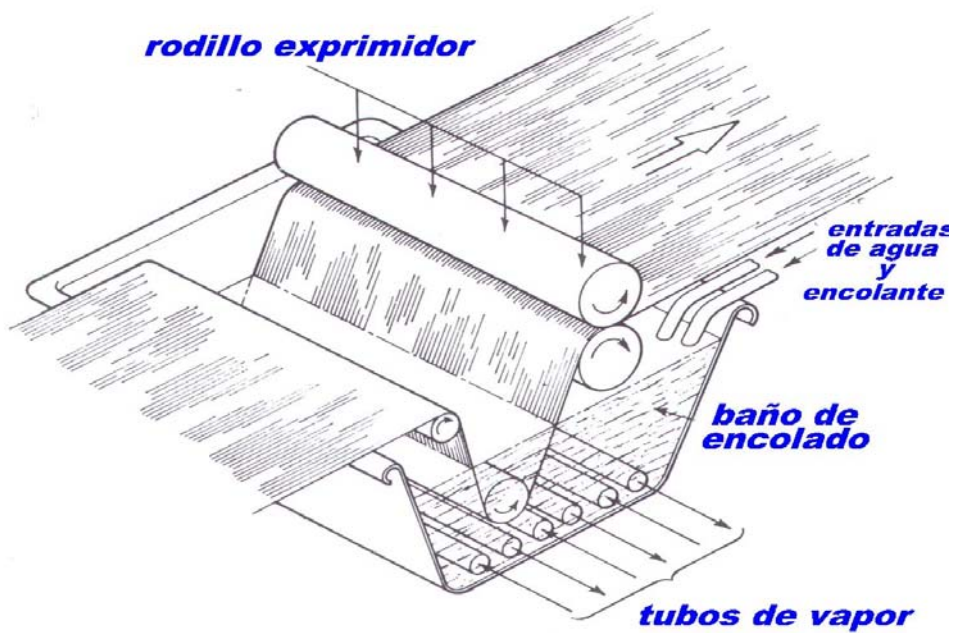


Figura 6.8 - **ENCOLADO DE LA URDIMBRE**

Las Figuras 6.2 a 6.8 fueron tomadas de "Weaving: Conversion of Yarn to Fabric", P.R.Lord, M.H.Mohamed (ver la cita bibliográfica al final de la Sección)

2.4.0- LAS TELAS “PLANAS”

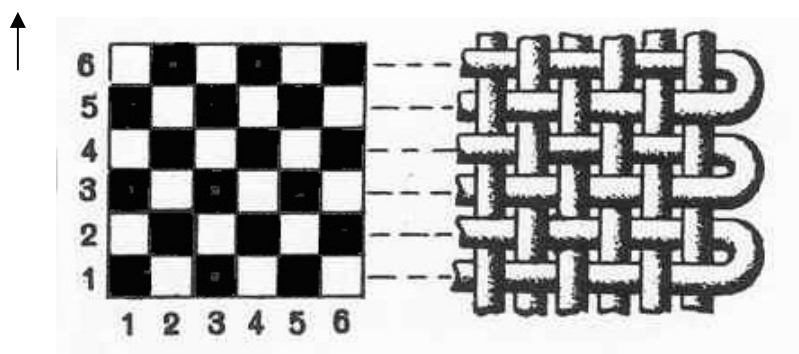
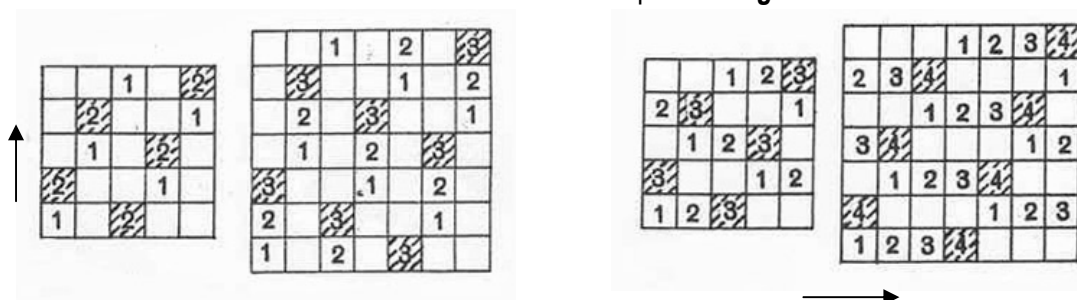


Figura 6.9 (tomada de “Tecnología del Tejido” de Vicente Galceran Escobet)

El tipo de **ligamento** de un tejido hecho en telar se puede representar gráficamente en papel cuadrículado suponiendo que cada *columna* de cuadrados es un hilo de urdimbre y cada *fila* una pasada de hilo de trama. Los hilos de urdimbre se cuentan de izquierda a derecha y las pasadas de urdimbre de abajo a arriba (Fig.6.9). Un hilo de urdimbre pasando **sobre** un hilo de trama se representa por un cuadrado lleno o marcado por una cruz (en este caso se dice que el hilo de urdimbre “**toma**” y el cuadrado marcado se denomina “**tomado**”). Un cuadrado sin ninguna marca significa que el hilo de urdimbre pasa por debajo del hilo de trama (en este caso se dice que el hilo de urdimbre “**deja**” y el cuadrado sin marca se denomina “**dejado**”). Los “**puntos de ligadura**” son aquellos en los que los hilos pasan de “tomar” a “dejar” o viceversa. A las porciones de hilo “flotantes”, entre dos **puntos de ligadura**, se les denomina “**bastas**”. Las “**bastas**” pueden ser de urdimbre o de trama. El “**curso**” o “**rapport**” es el mínimo número de hilos de urdimbre y de trama necesarios para representar un **ligamento**. El “**curso**” o “**rapport**” se repite en el tejido en dirección longitudinal y transversal. Puede ser cuadrado o rectangular, según que la cantidad de hilos de urdimbre sea igual a los de trama o no, respectivamente.

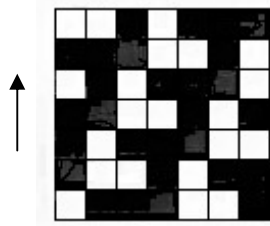
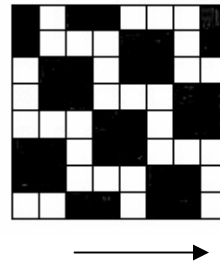
El **escalonado por urdimbre** es la cantidad de hilos de trama que hay entre un “**tomado**” en un hilo de urdimbre y el “**tomado**” en el hilo de urdimbre siguiente, incluido esta última. El **escalonado por trama** es, a la inversa, la cantidad de hilos de urdimbre que hay entre un “**tomado**” en un hilo de trama y el “**tomado**” en el hilo de trama siguiente, incluido este último. Se designan, respectivamente, con las letras **e** y **e_t** seguidas del número que corresponda (Figs.6.10 a 6.13). Cuando el **escalonado** tiene siempre un único valor se dice que es **regular**. Cuando tiene dos o más valores distintos se dice que es **irregular**.



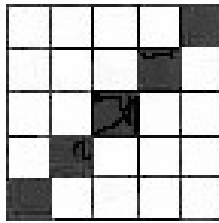
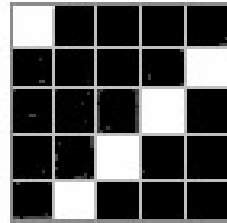
Escalonados Regulares

Figs. 6.10 y 6.11: **Escalonado por urdimbre (e.2) y (e.3)** - Figs. 6.12 y 6.13: **Escalonado por trama (e.t. 3) y (e.t. 4)**

Se le llama “**evolución del ligamento**” a la ubicación relativa de los puntos de ligadura en cada hilo de urdimbre (**evolución por urdimbre**) o a la ubicación relativa de los puntos de ligadura en cada hilo de pasada de trama (**evolución por trama**) (Figs. 6.14 y 6.15).

Fig. 6.14 Evolución por urdimbre $b : 3,1,1,2$ Fig 6.15. Evolución por trama $b t : 2,1,2,3$

En el “rapport” de la Fig. 6.14 cada hilo de urdimbre pasa por encima de tres hilos de trama, por debajo de la siguiente, por encima de la otra y por debajo de las dos restantes (3 tomados, 1 dejado, 1 tomado, 2 dejados). Por tanto la **evolución por urdimbre** será: $b : 3,1,1,2$. La suma de estas cifras da **7**, lo que corresponde a la cantidad de hilos de trama del “rapport”. En el “rapport” de la Fig. 6.15 cada hilo de trama pasa por debajo de dos hilos de urdimbre, por encima del siguiente, por debajo de los otros dos, y por encima de los tres restantes (2 tomados, 1 dejado, 2 tomados, 3 dejados). Por tanto la **evolución por trama** será $b t : 2,1,2,3$. La suma de estas cifras da **8**, lo que corresponde a la cantidad de hilos de urdimbre del “rapport”

Fig. 6.16 ($b : 1,4$); ($bt : 4,1$)Fig 6.17 ($b : 4,1$); ($bt : 1,4$)

Las evoluciones que constan de solo dos cifras, siendo una de ellas **1**, se les llama **evoluciones fundamentales** como en los ejemplos de las Figs. 6.16 y 6.17. Las evoluciones correspondientes a las Figs. 6.14 y 6.15 no son fundamentales y se les llama **evoluciones derivadas**.

Un ligamento queda bien determinado cuando se conoce su escalonado y su evolución. La cantidad de ligamentos que pueden obtenerse con distintos escalonados y evoluciones es prácticamente ilimitado pero podrían agruparse según la siguiente clasificación:

Tabla 6.3 - TIPOS DE LIGAMENTOS

SIMPLES	FUNDAMENTALES	Tafeta
		Sarga
		Raso
	DERIVADOS	de la Tafeta
		de la Sarga
COMPUESTOS		del Raso
		Derivados mixtos
		Derivados por transposición
		amalgamados
		cruzados
		discordantes
		esfumados
		radiados
		listados
		a cuadros
	de relieve	
	a capricho	

“CUENTA”

Es el número de hilos de urdimbre y trama por cm de tela. (p.ej. **40 x 25** indica primero la cantidad de hilos de urdimbre, 40, y luego los de trama, 25). Para un dado título de hilado, cuanto más alta la “cuenta” mayor el peso de la tela. La “cuenta” se puede determinar contando con la ayuda de una “lupa cuenta-hilos”.

“BALANCE”

Es la relación de hilos de urdimbre a hilos de trama. En una tela “balanceada” esta relación es 1.

“GRANO”

Es la posición del hilo al corte de la tela, p.ej.: “*al hilo*” cuando el corte se hace a lo largo de la urdimbre, “*transversal*” cuando se hace a lo largo de la trama, “*diagonal*” cuando se corta a 45°, “*al sesgo*” cuando se corta en ángulos diferentes a 45° (este es el corte en que la tela se deshilacha más).

Se dice también que una tela está “*fuera de grano*” cuando el dibujo o diseño queda torcido y tiene mala caída. En general da mucho trabajo enderezarlas. Existen sensores que van controlando el grano mientras se va tejiendo.

¿COMO RECONOCER URDIMBRE Y TRAMA?

La urdimbre es paralela al orillo. Si la muestra de tela que se nos suministra no incluye el orillo, se deben contar los hilos: en general los hilos de urdimbre son más numerosos. La resistencia a la tracción de los hilos es también una pista: los hilos de urdimbre son, en general, más resistentes.

TABLA 6.4		
COSTO DE ELABORACIÓN DE UNA TELA PLANA DE LANA		
<i>Valores aproximados * 280 g/m * Hilado peinado de N_m 40/2</i>		
OPERACIONES	U\$S / kg	%
<i>Elaboración del “top”</i>	3,0	11,0
<i>Pasajes, peinado, “finisseur”</i>	1,0	3,6
<i>Inserción de torsión (R/S)</i>	4,0	14,7
<i>Bobinado y purgado</i>	0,8	2,9
<i>Reunido y retorcido</i>	3,0	11,0
<i>Tintura del hilado</i>	2,0	7,3
<i>Urdido</i>	1,0	3,6
<i>Tisaje</i>	4,0	14,7
<i>Reparación manual</i>	0,5	1,8
<i>Terminación</i>	4,0	14,7
<i>Mercadeo, costos financieros, etc..</i>	4,0	14,7
TOTAL	27,3	100,0

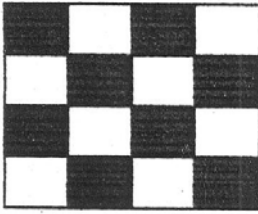


Figura 6.18

2.4.1- LIGAMENTO TAFETA

Es el ligamento más simple de todos. Se construye en un telar con dos cuadros. No tiene derecho ni revés, salvo que luego de tejida la tela se estampe de un lado. Presenta muchas variantes:

BALANCEADAS LIVIANAS:

Muy usadas para camisas y blusas de verano, cortinas transparentes: **Linón:** en gral. de algodón o algodón/ poliéster, de cuenta alta (88x80) e hilados delgados (U: Ne 70/1, T: Ne 100/1, etc.); **Organdí:** tradicionalmente de algodón tratado con ácido sulfúrico diluido. Telas delgadas, rígidas, muy arrugables, de cuenta alta (88x80) e hilados delgados (U: Ne 70/1, T: Ne 100/1, etc.); **Batista** o **Nansú:** en genera., de algodón mercerizado o algodón/ poliéster y de colores blanco o pastel. Cuentas altas (88x80) e hilados delgados (U: Ne 70/1, T: Ne 100/1, etc.); **Crinolina:** en general de algodón cardado. Telas muy abiertas y con apresto. Cuentas bajas (48 x 44, 12 x 10, etc.) e hilados más gruesos (U: Ne 30/1, T: Ne 40/1, etc.)

BALANCEADAS MEDIAS:

Percal: en gral. de algodón; **Chintz:** percal estampado con alto cubrimiento; **Muselina:** tela blanca en general de algodón sin estampar; **Escocesas:** más caras, con hilados de color y armado del telar más difícil.

BALANCEADAS PESADAS:

Bramantes, Cretonas, Tweeds, Franelas: en gral. de algodón. Son más durables y resistentes a las arrugas. Cuentas de medias a altas (48 x 48, 66 x 76, etc.) con hilados gruesos (U: Ne 13/1, T: Ne 20/1, etc.)

NO BALANCEADAS:

Bengalinas, Popelinas, Shantung: en gral. de algodón. Los hilos de urdimbre son en general el doble más numerosos que los de trama con cuentas altas (88 x 31, 92 x 40, 140 x 44, etc.) e hilados peinados, cardados y fantasía, gruesos (U: Ne 30/1, T: Ne 5/1, etc.). Si los hilos de trama son diferentes a los de urdimbre se nota un efecto de "cordones" a lo largo de esta.

ESTERILLAS:

Oxford: dos o más hilos de urdimbre o trama hacen el ligamento juntos. Son muy resistentes a las arrugas, más flexibles y de aspecto más plano.

ABORDONADAS:

Bengalinas y Popelinas: Con hilos de trama más gruesos que los de urdimbres. **Dimity** con hilos de urdimbre más gruesos que los de trama. Si los hilos más gruesos se colocan alternadamente se obtienen efectos de "cordón".

Se puede variar el diseño de estas tafetas cambiando el título, la torsión, el color y la materia prima de los hilos, cambiando la cuenta del tejido, estampando, etc., etc.

2.4.2 - LIGAMENTO SARGA

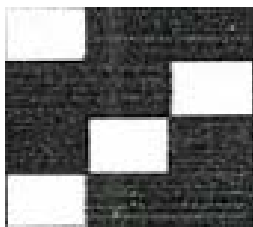


Figura 6.19
Sarga (bt 2/1)
(tres "cuadros")

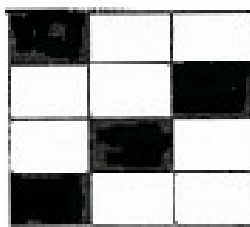


Figura 6.20
Sarga (bt 1/2)
(tres "cuadros")

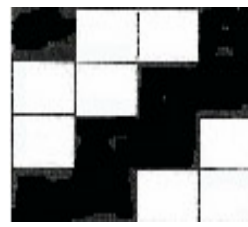


Figura 6.21
Sarga (bt 2/2)
(cuatro "cuadros")

Los hilos de urdimbre o de trama hacen una "basta" o "salto" con un desplazamiento en cada carrera, que da como resultado una textura en líneas diagonales, característico.

En el telar, la construcción de la sarga más simple requiere 3 "cuadros" y 18 la más compleja. Una sarga de dos o 2/1, se construye con dos cuadros subiendo y uno bajando. Una sarga 1/2, con un cuadro subiendo y dos bajando. Como el tisaje es más complejo, en general y para condiciones similares, las sargas son más caras que las tafetas.

En general son más pesadas y fuertes que las tafetas, pues al ser un ligamento con menos cruzamientos, a igualdad de título de los hilos, la cantidad de estos por unidad de superficie puede ser mayor. Por la misma razón son también flexibles y con mejor recuperación de arrugas.

Las sargas tienen derecho y revés. Generalmente la diagonal o "espiga" va de "abajo izquierda" a "arriba derecha". El ángulo de la diagonal o "espiga" es función de la cantidad de hilos de urdimbre. Una sarga equilibrada tendrá una "espiga" en ángulo de 45°. A mayor cantidad de hilos de urdimbre en relación a los de trama, mayor será el ángulo de la "espiga". La "gabardina" es un ejemplo de sarga desequilibrada, ya que tiene más hilos de trama que de urdimbre.

Debido a su construcción, disimulan más la suciedad pero son más difíciles de limpiar. Por esta razón y por su mayor flexibilidad, resistencia a la rotura y al arrugado, se usan mucho para ropa de trabajo (los "**Drill**", "**Brin**", "**Jean**" o "**Denim**" son sargas).

En general, las sargas no se estampan pues su diseño es ya interesante por si mismo. Alternando la inclinación de la diagonal se obtienen diseños en "espiguilla" o en "rombo". La prominencia de la "espiga" se puede aumentar con hilos gruesos y con torsiones opuestas.

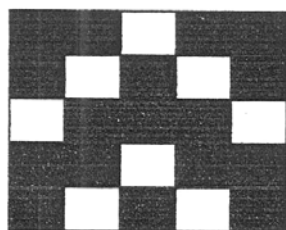


Figura 6.22 - Sarga "espiguilla"

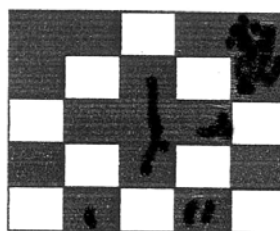
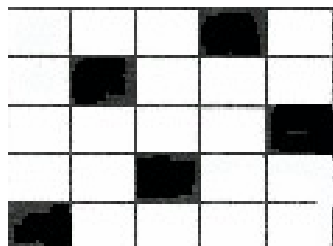


Figura 6.23 - Sarga "rombo"



2.4.3 - **LIGAMENTO SATÉN**

Figura 6.24 **Satén 1/4**

Cada hilo de urdimbre o trama hace una "basta" o "salto" sobre 4 hilos de trama o urdimbre, respectivamente, como mínimo, con un corrimiento de dos a la derecha o a la izquierda en cada. carrera.

Al "**SATÉN**" se le conoce también como "**RASO**" y es muy usado en tapicería. Es un ligamento con pocos cruzamientos y los hilos se pueden juntar más de manera que la "cuenta" puede ser muy alta. La "cuenta" alta les da resistencia al arrugado y gran durabilidad. Son también muy flexibles y de aspecto brillante pero propensos a "deshilacharse".

Los "**SATENES**" o "**RASOS**" tienen derecho y revés. Los hay por "urdimbre" y por "trama". Los de "trama" son en general más brillantes, pues los hilos de trama suelen tener menos torsión. La cantidad de "lizados" necesarios para tejer un **SATÉN** o **RASO** debe ser igual al número de "bastas" más 1. Para tejer el más sencillo (1/4 ó 4/1) se necesitan entonces 5 "lizados". Cuando las "bastas" son 7 (o más), se obtiene un **SATÉN** o **RASO** al que se le denomina en general **DAMASCO**.

TABLA 6.5

	CUENTA	Hilado de urdimbre	Hilado de trama
RASOS LIGEROS	60 x 104	32/1	38/1
	84 x 136	40/1	60/1
	96 x 108	40/1	60/1
RASOS PESADOS	84 x 64	12/1	11/1
	160 x 96	52/1	44/1

¿CÓMO RECONOCER EL DERECHO Y EL REVÉS DE UNA TELA?

En una "tafeta": por el acabado, la terminación o la estampación.

En una "sarga": por la posición de la "espiga". En general va de abajo izq. a arriba derecha.

En un "satén": por el brillo.

2.5.0- ALGUNAS TELAS ESPECIALES

2.5.1- TELAS “TRIAXIALES”

Son un caso especial de “ligamento tafeta” en el que hay dos tipos de hilos de urdimbre cruzándose en un ángulo dado. Se utilizan en algunas aplicaciones industriales como cintas transportadoras, lonas de gran resistencia, etc.

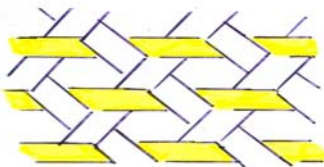


Figura 6.25

2.5.2- TELAS “CREPÉ”

Son telas con un efecto de ondulado. Este efecto se puede lograr de varias formas: **1)** se teje con hilado con mucha torsión que se estira y fija previamente por engomado. Luego de tejida la tela se lava, se retira la goma y los hilos torsionados se contraen obteniéndose el llamado “crepé” verdadero; **2)** se utilizan filamentos texturizados que se tejen estirados. Luego, al sacarse la tela del telar, cesa la tensión sobre filamentos que encogen y dan el efecto ondulado; **3)** se teje con el hilado de trama floja, de manera que el batán al apretarla en el telar la haga formar bucles, que le imparten a la tela un aspecto ondulado; **4)** si la tela es de algodón se la puede tratar, luego de tejida, con una solución de soda cáustica. Los hilos encogerán, dando el efecto “crepé”; **5)** algunas telas, luego de tejidas, se pueden pasar, en caliente y a presión, entre rodillos que le imprimen un efecto ondulado (*telas “gofradas”*).

2.5.3- TELAS AFELPADAS

Son telas que sobre una o ambas caras, poseen “pelos” o rizos” lo que, a veces, les da un aspecto de “piel”. Las *alfombras* son uno de los ejemplos más conocidos de tela afelpada, pero también son ejemplos importantes las *toallas de rizo*, el “*pelouche*” y el *terciopelo*. Alguno de los procedimientos más importantes para producir telas afelpadas son los siguientes:

a) Por anudado de “pelo” o “bucles” en la urdimbre de una tela plana. El ejemplo más destacado es el de las alfombras de **nudos**. Para elaborar estas alfombras tradicionales, se comienza por armar un bastidor, en general vertical, sobre el que se tensa una urdimbre, que puede ser de hilos de algodón o lino. Por cada dos hilos de esta urdimbre se anuda una porción de hilado, tradicionalmente de lana y de título grueso como en las alfombras persas, de longitud variable, según el largo de “**pelo**” que se desea para la alfombra. Cada fila de nudos se aprieta luego pasando un hilo de trama para luego repetir otra fila de nudos y así sucesivamente. Una variante es anudar el hilado formando “**bucles**” en lugar de cortarlo para que forme “pelo”. El revés de la alfombra se puede reforzar luego con otra tela o con barnices o pinturas protectoras. Este método **manual**, con diversas variantes, es aún muy utilizado para la producción artesanal de alfombras.

b) Tejiendo una tela plana en un telar de “rizos”. En la elaboración de estas telas se intercala un conjunto adicional de hilos de urdimbre o de trama que poseen menos tensión, es decir más flojos. El batán con su peine, al apretar la trama, hace que estos hilos de urdimbre más flojos, formen bucles o “rizos”. En este tipo de telares se tejen, p.ej. toallas de algodón, con rizos, lo que las hace mucho más absorbentes. Cuando son algunos de los hilos de trama los que están más flojos, el telar debe tener otros mecanismos, como alambres intercalados, que permiten formar el “rizo” selectivamente en algunos de esos hilos de trama. En telares Jacquard, que incluyen estos mecanismos, se tejen las famosas alfombras Axminster y Wilton que poseen una

gran riqueza de diseño y de colores. Los rizos o bucles pueden quedar como tal o pueden cortarse por su parte superior, con una “tondosa”, obteniéndose el efecto “pelo”.

c) Tejiendo dos telas con **dos urdimbre superpuestas**, con hilos de trama comunes a las dos urdimbres. Luego de tejer se cortan esos hilos de trama comunes entre ambas caras y se obtienen así **dos** telas donde esos hilos cortados forman el “pelo” de cada una.

d) Tejiendo en una máquina especial de “afelpado” (o “*tufting machine*”) que inserta “copetes” (o “*tufts*”) de hilado en una tela base. Estas máquinas son esencialmente **máquinas de coser de múltiples agujas** que pueden hacer la puntada dejando sobre la tela base, “pelo”, “copete” o “rizo”. Los hilados pueden ser teñidos o crudos y en este último caso la tela puede luego, ser estampada. Estas máquinas pueden producir muchos más metros por hora que un telar. Por esta razón, la mayor parte de las alfombras, con diseños geométricos básicos, se fabrican actualmente, por este procedimiento.

e) Tejiendo tela plana con hilado “**chenille**”, que es un hilado atravesado perpendicularmente por pequeños trozos de otro hilado, los que finalmente darán a la tela terminada el efecto de “pelo” o felpa.

e) Tejiendo **tejido de punto** (ver Capítulo siguiente), en una máquina generalmente del tipo circular, que es alimentada, con el hilado de base y, además, con una mecha que por micro cardado va suministrando fibras sueltas (“*sliver knitting*”). La máquina a medida que teje, engancha o anuda, las fibras sueltas que se le van suministrando resultando una tela con “efecto de pelo”. Las telas que imitan la piel de animales, algunos forros de abrigos o “anoraks” y el “pelouche” que recubre algunos juguetes infantiles son ejemplos de telas afelpadas que se producen de esta manera.

f) Por “**flockeado**”. Las telas “flockeadas” se obtienen colocando perpendicularmente y adhiriéndolas por un extremo, fibras cortadas (*artificiales y/o sintéticas*), conocidas como “*flock*”, sobre una tela base recubierta de un adhesivo. Las fibras se distribuyen sobre la tela base por métodos mecánicos o electroestáticos. Muchos de los terciopelos que se encuentran actualmente en el mercado - en sus dos variedades más importantes, la “*pana*”, cuando es acanalado y el “*velour*”, cuando es liso - se producen actualmente por este método.

2.5.4- TELAS “FRIZADAS”

Una tela ligeramente “afelpada” se puede obtener “perchando” o “frizando” una tela tejida con hilados con baja torsión. La abrasión producida por la “friza” levanta fibras del hilado, aumentando su pilosidad y produciendo un efecto de “felpa”.

2.5.5- TELAS “PIQUÉ”

Son telas en las que se alternan hilos muy gruesos entre los hilos de urdimbre. Se obtienen telas con efectos “acordonados”.

2.5.6- TELAS RECUBIERTAS

Estas telas tienen actualmente muchas aplicaciones, especialmente en marroquinería (*bolsos carteras, etc.*) pero también en vestimenta (*p.ej. chaquetas*). Se producen, en general, aplicando sobre la superficie de un tejido plano o de punto (*generalmente barato*), un polímero sintético, como el cloruro de polivinilo (*PVC*), poliuretano, etc. de manera de obtener telas de mayor resistencia al desgarre, a la abrasión, al agua, etc.

“Coated and Laminate Textiles”. Walter Fung, Woodhead Publishing Ed., 2004

2.6.0- LA FORMACIÓN DE “PILLING”

Se denomina con la palabra inglesa “*pilling*” a la formación, en la superficie de la tela, de pequeñas “bolitas” de fibras enredadas. El “*pilling*” es un fenómeno complejo y que produce serios inconvenientes, como mal aspecto y desgaste de las prendas, y por tanto, en general, se trata siempre de evitarlo.

Las causas del “*pilling*” son diversas pero entre las principales están: **1)** el *largo*, la *flexibilidad* y la *migración de las fibras*, **2)** la *pilosidad* y la *cantidad de torsiones del hilado*, así como si a éste se le *agregaron ensimajes* o fue *vaporizado* y, finalmente, **3)** el *tipo de ligamento*, la “*cuenta*” y el *balance de la tela*. Entre alguno de lo procedimientos empleados para minimizar el “*pilling*” está el de utilizar fibras poco rígidas, aumentar las torsiones del hilado, incorporar suavizantes a la tela, etc. Otra solución es, una vez que aparece la “bolita” en la superficie de la tela, facilitar su desprendimiento (p.ej. las fibras de poliéster “*antipilling*” poseen una baja resistencia a la tracción para facilitar ese desprendimiento)

CONTROLES DE CALIDAD PARA TELAS PLANAS:

1) Composición (tipo de fibra que componen los hilados); 2) Peso en g/m²; 3) Cuenta de hilos; 4) Resistencia a la tracción, kgf ; 5) Elongación a la rotura, %; 6) Resistencia al desgarre, kgf ; 7) Resistencia a la abrasión, ciclos; 8) Resistencia al “*pilling*” 1-5; 9) Encogimiento al lavado en sentido de la trama y de la urdimbre, %; 10) Absorción de agua, g/g; 9) Impermeabilidad, 10) Flexión, 11) “Caída”, 12) Compresibilidad, 13) Extensibilidad.

ADEMÁS, PARA TELAS TEÑIDAS:

10) Solidez al frote húmedo y seco, 1-5; 11) Solidez al lavado, 1-5; 12) Solidez al hipoclorito de sodio, 1-5; 13) Solidez a la transpiración ácida y alcalina, 1-5; 14) Solidez a la luz, 1-8

BIBLIOGRAFÍA

- 1- “**Looms and Weaving**”, Anna Benson and Neil Warburton, Shire Publications Ltd., Cromwell House, Church Street, Princes Risborough, Aylesbury, Bucks, HP17 9AJ, UK
- 2- “**Textile Fabrics and their Selection**”, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., USA, 1970.
- 3- “**Woven Cloth Construction**”, A.T.C. Robinson, R.Marks, The Textile Institute, Manchester, England, 1973.
- 4- “**Principles of Weaving**”, R.Marks, A.T.C. Robinson, The Textile Institute, Manchester, England, 1976.
- 5- “**Weaving: Conversion of Yarn to Fabric**”, P.R.Lord, M.H.Mohamed, Merrow Publishing
- 6- “**Physical Testing of Textiles**”, B.P.Saville, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>
- 7- “**Handbook of Weaving**”, S.Adanur, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>
- 8- “**Weaver’s Handbook of Textile Calculations**”, D.J.McCreight, J.B. Bradshaw, E.E.Backe, M.S.Hill, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>
- 8- “**Dictionary of Weaves**”, Eleanor Best, 7130 Eastwick Lane, Indianapolis, IN 46256, <engbest@aol.com>
- 9- “**Tecnología del Tejido**”, Vicente Galceran Escobet. Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Terrassa (Barcelona), España

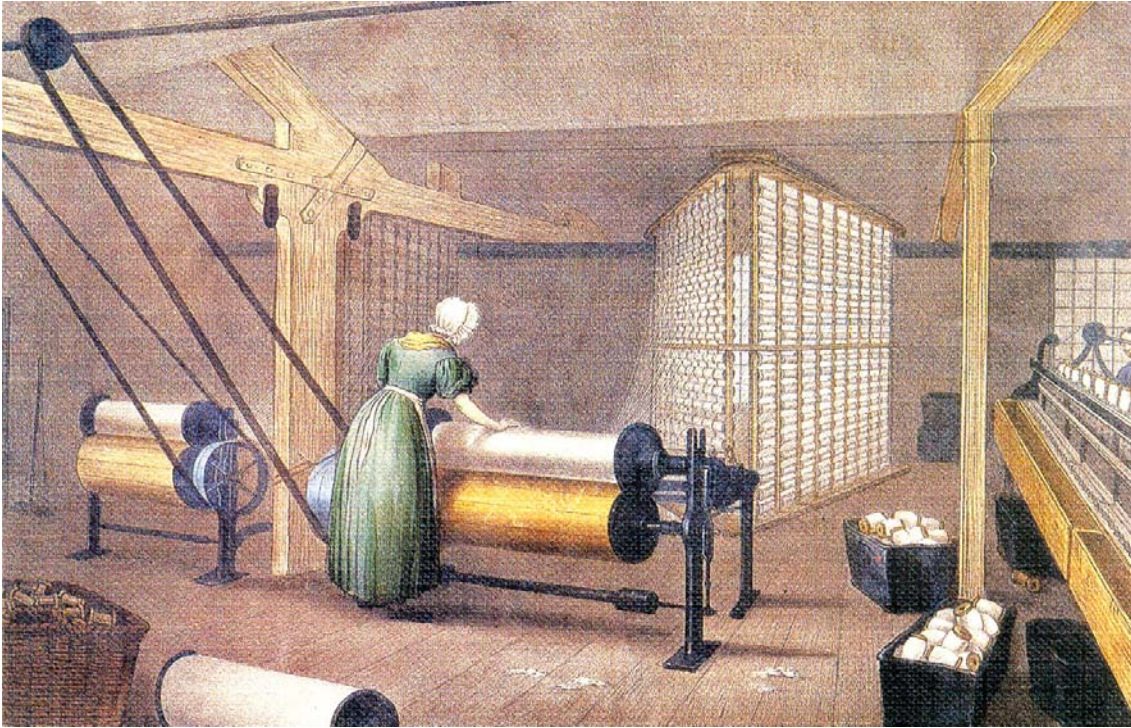


Figura 6. 26 – Preparación de urdimbre según técnicas de fines del siglo XIX

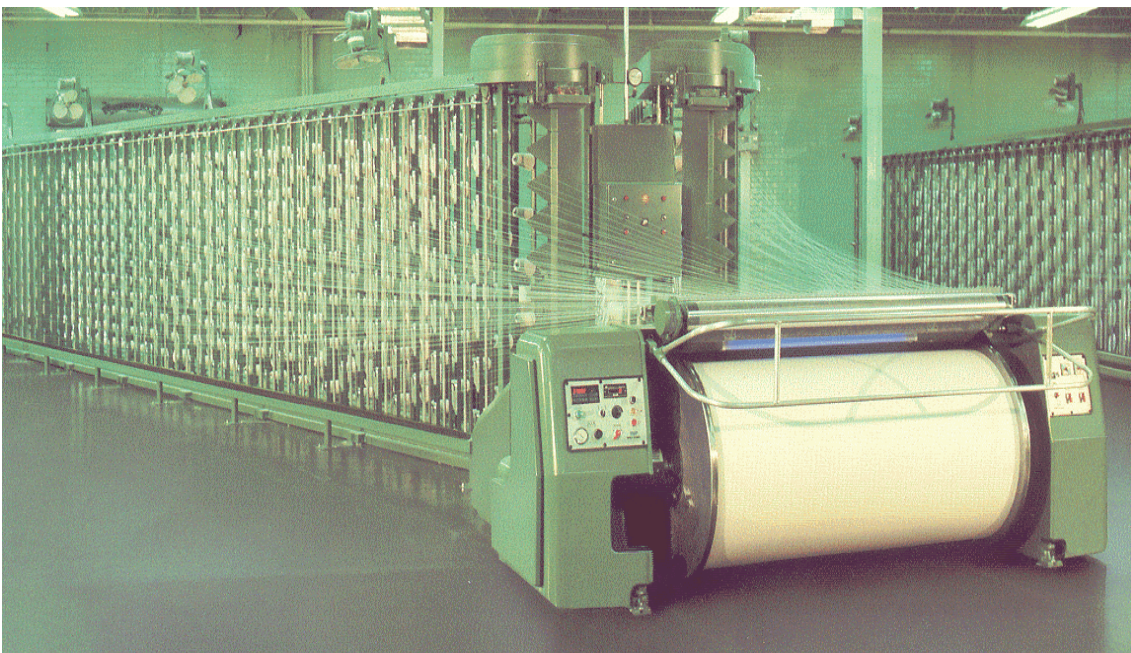


Figura 6.27 - URDIDORA DIRECTA CON FILETA
(Urdidora West Point Model 844 V-Creel)

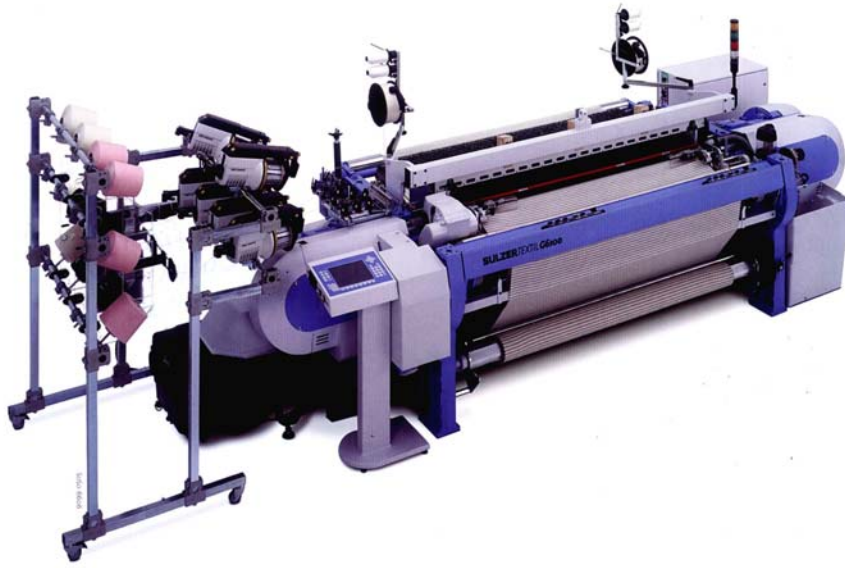


Figura 6.28 - **MODERNO TELAR DE PINZAS**



Figura 6.29 - **TELAR JACQUARD**



Figura 6.30 - **TELAR JACQUARD**



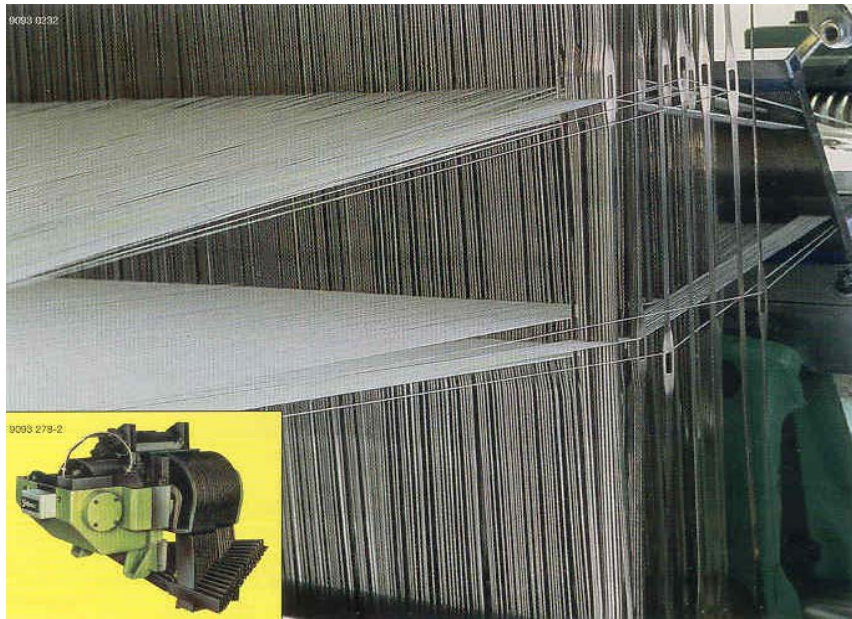
Figura 6.31 - **TELAR JACQUARD**



Figura 6.32- Uno de los primeros telares Jacquard exhibido en el Museo de Ciencia e Industria, Manchester, Inglaterra



Figuras 6.33 y 6.34 - Tirantes y tarjetas perforadas de un telar Jacquard



*Figura 6.35 - APERTURA DE LA CALADA
(Maquina de excéntricas en esquina inferior izquierda)*



Figura 6.36 - "DOBBY" o "RATTIERA"



Figura 6.37 - MAQUINA DE EXCENTRICAS

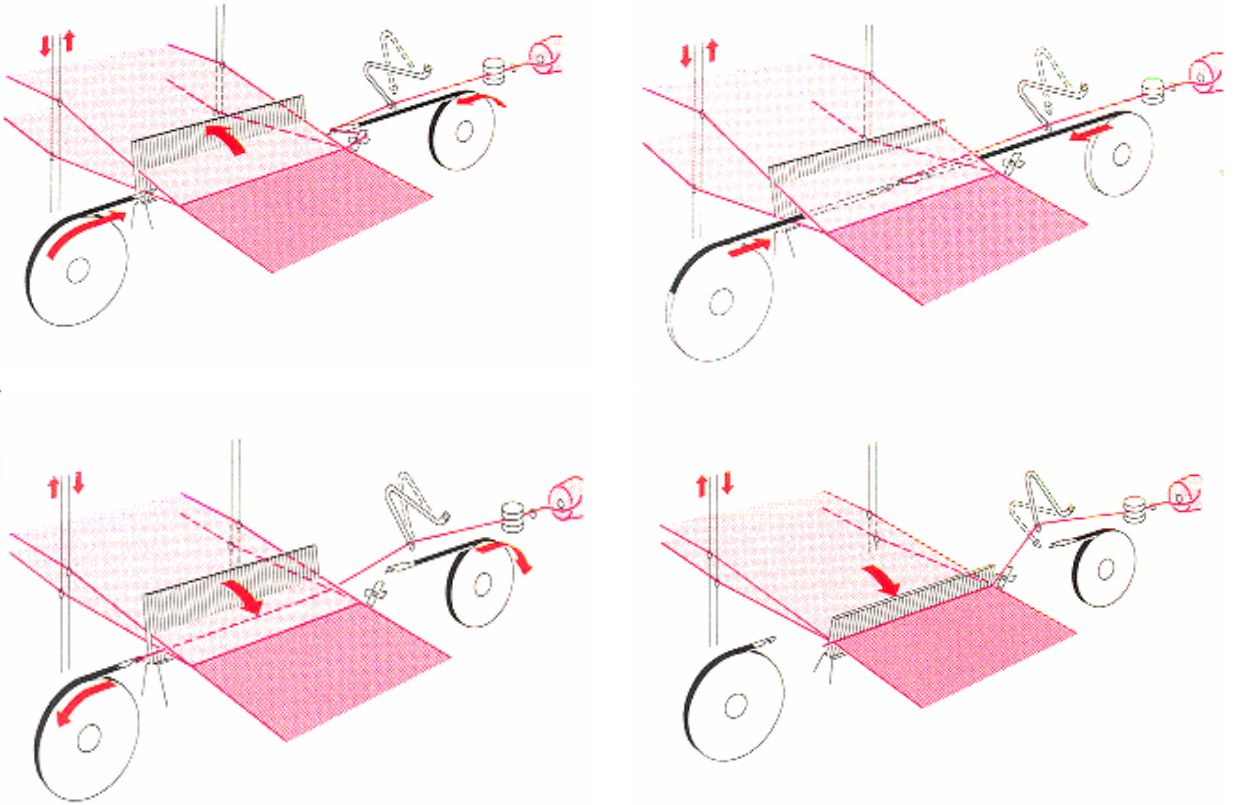


Figura 6.38 - **SECUENCIA DE LA INSERCIÓN DE TRAMA EN UN TELAR DE PINZAS**
("Rapier Weaving Machine")

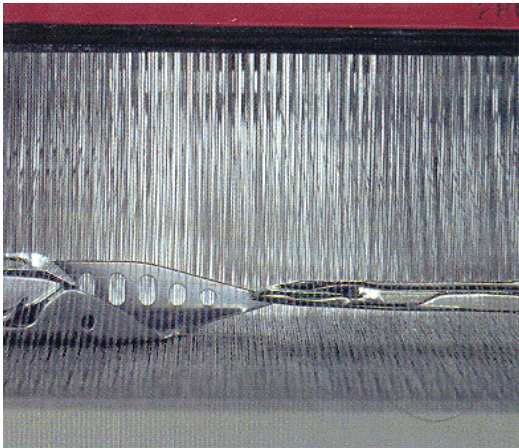


Fig. 6.39 - Pinzas intercambiándose la trama en mitad de la calada

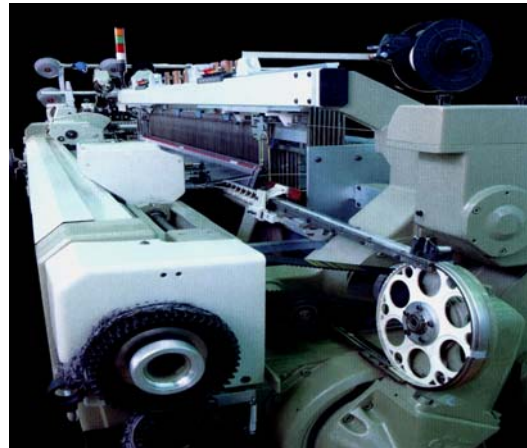


Fig. 6.40 - las cintas flexibles, portadoras de las pinzas, se enrollan a los lados del telar

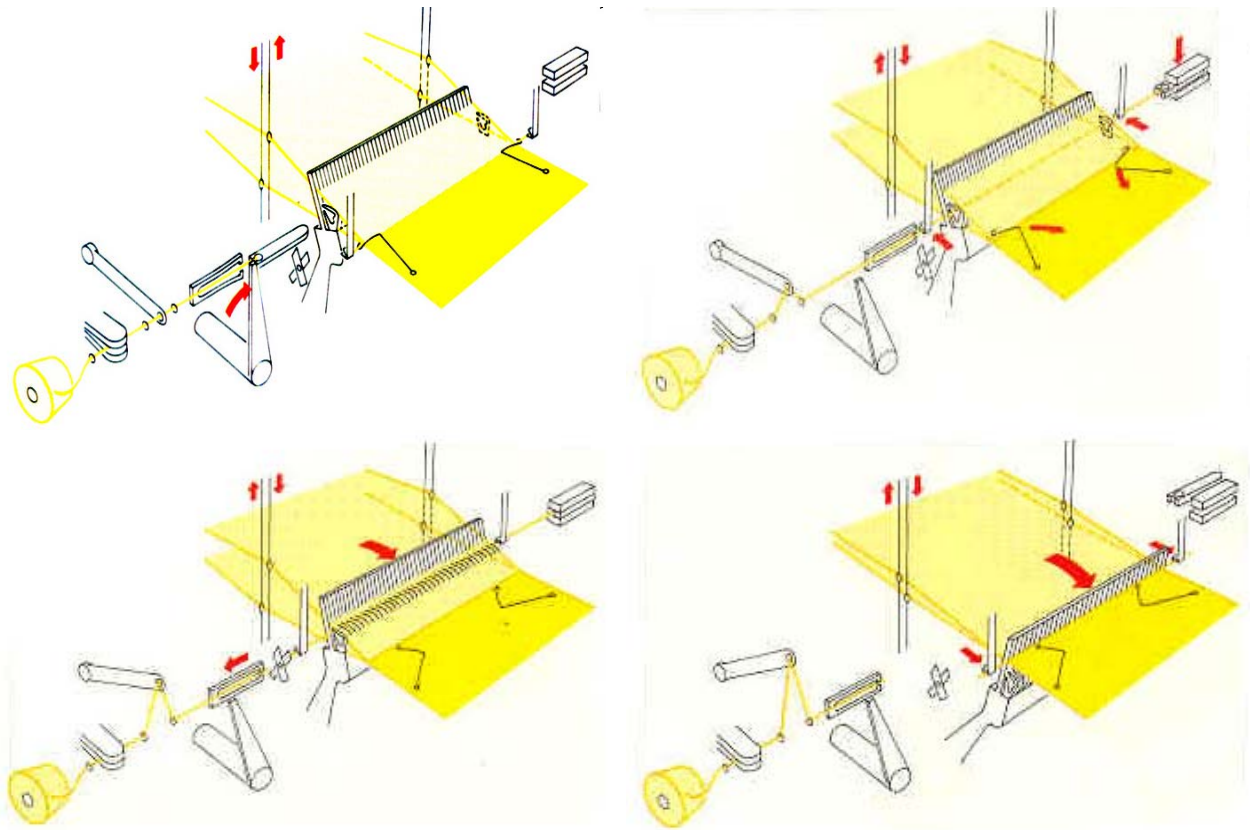


Figura 6.41 - SECUENCIA DE INSERCIÓN DE TRAMA EN UN TELAR DE PROYECTIL



Fig. 6.42 - PROYECTILES

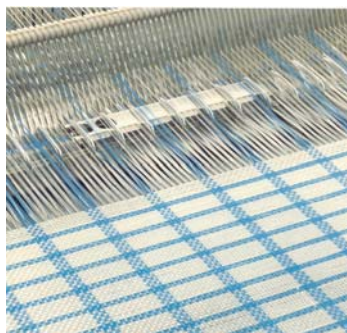


Fig. 6.43 y 6.44 - PROYECTILES VIAJANDO EN LA CALADA

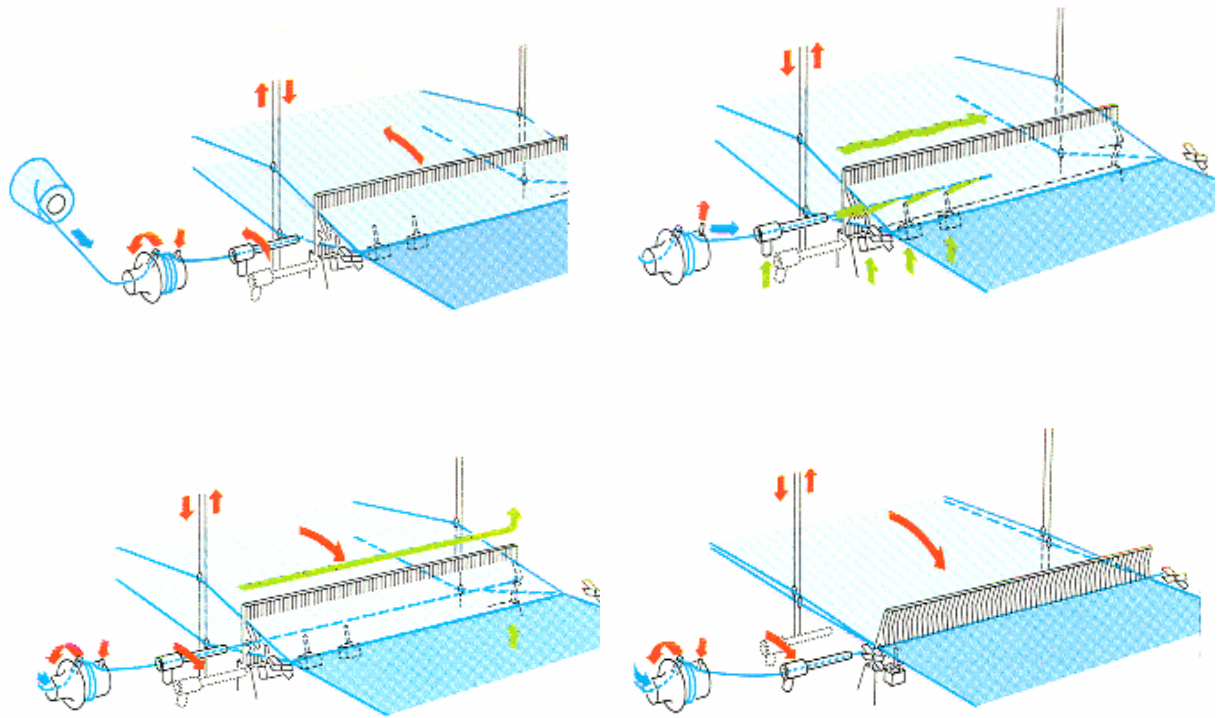


Figura 6.45 - **SECUENCIA DE INSERCIÓN DE TRAMA EN UN TELAR DE CHORRO DE AIRE**

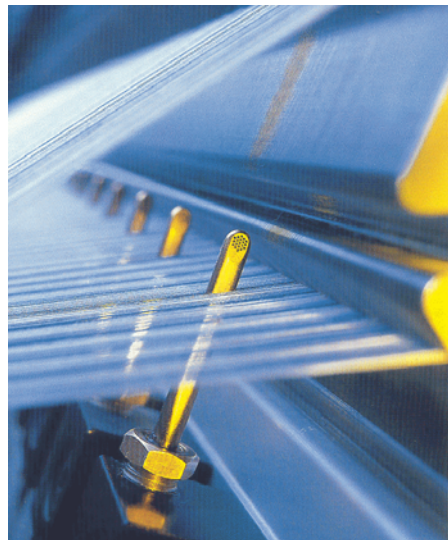


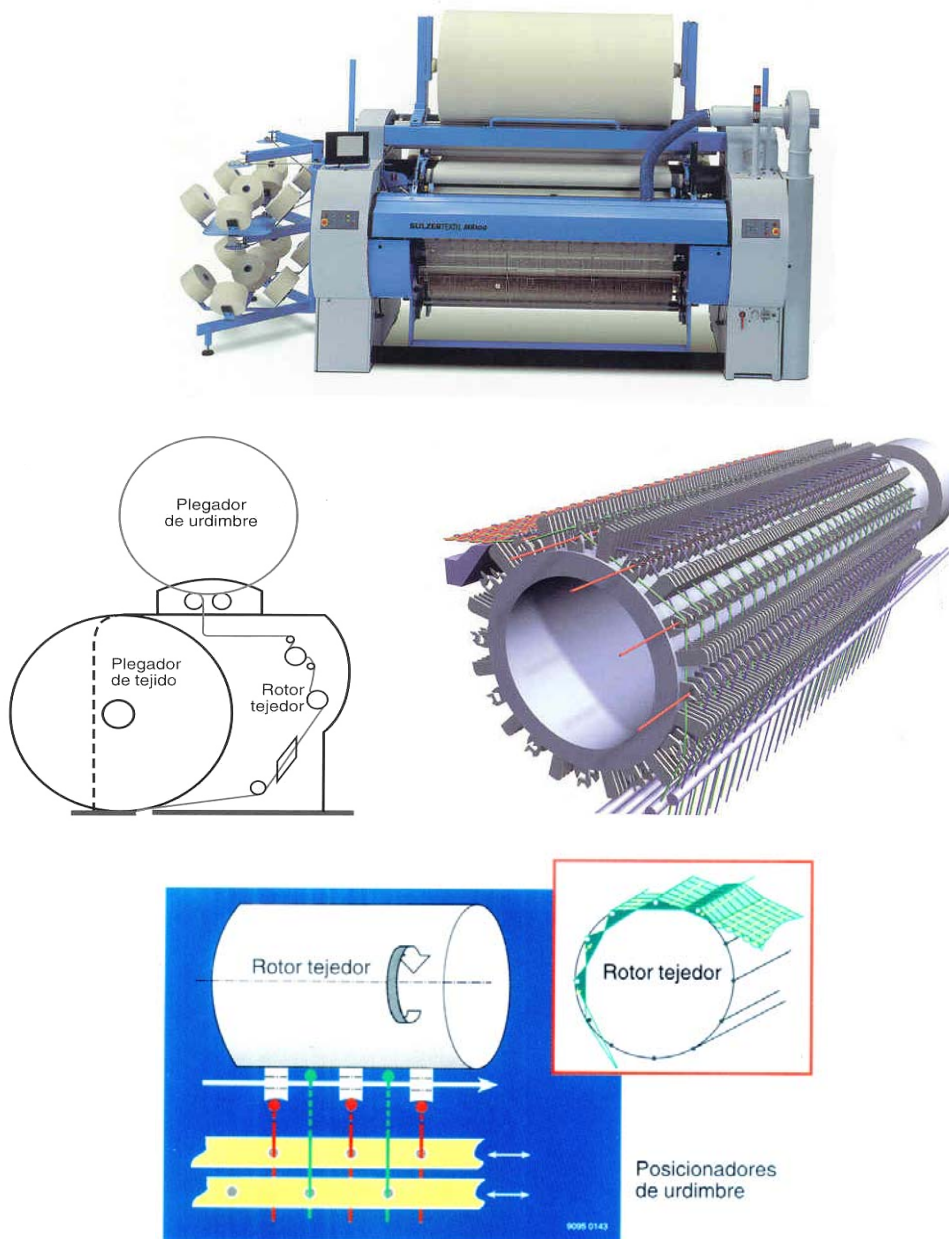
Figura 6.46 - **CALADA Y TOBERAS DE TELAR DE CHORRO DE AIRE**



Figura 6.47 - MECANISMO TENSOR DE URDIMBRE Y LAMINILLAS MONTADAS EN LOS HILOS DE URDIMBRE



Figura 6.48 - MECANISMO TEJEDOR DEL ORILLO



Figs. 6.49, 6.50, 6.51 y 6.52 - **TELAR MULTIFASE M8300 DE SULZER RUTI**

En los telares multifase - desarrollados entre 1960 y 1980 - se abren simultáneamente varias caladas. Esa apertura puede realizarse de dos maneras: 1) por calada ondulante y 2) por calada multilinear. En el primer caso varias caladas se van abriendo de un lado a otro en dirección de la trama, formando como una onda oscilante de caladas parciales en las que se van deslizando los hilos de trama. En el segundo caso, que es el que ha tenido más éxito, se abren varias caladas, unas tras otras, en la dirección de la urdimbre y el hilo de trama se inserta en cada calada por un chorro de aire. Es el caso del telar de calada multilinear M8300 de Sulzer Ruti (Figs. 6.49, 6.50, 6.51 y 6.52) en el que se insertan simultáneamente cuatro hilos de trama. Para ello, la urdimbre se conduce sobre un tambor de giro continuo - el rotor tejedor - que está dotado de una determinada cantidad de peines para formar las caladas. La inserción de trama se hace sin interrupciones y el desenrollado tangencial en las bobinas de trama se hace a velocidades relativamente bajas y constantes.

MODELO DE ORDEN DE PRODUCCION PARA TEJEDURIA Y TINTORERIA

Fecha: / / metros..... ancho..... Kg Uso final.....

TEJEDURIA	
Tipo de ligamento (<i>tafeta, sarga, satén</i>)	
(<i>adjuntar las instrucciones del diseño</i>)	
Tipo de hilado (R/S, O/E, etc.), <i>en urdimbre y trama</i>	
Título del hilado (Tex, Denier, Ne, Nm), <i>en urdimbre y trama</i>	
Torsiones por metro del hilado (S ò Z), <i>en urdimbre y trama</i>	
TERMINACION	
Aprestado	
Suavizado	
Frisado o perchado (<i>telas de algodón</i>)	
Batanado (<i>telas de lana</i>)	
Decatizado (<i>telas de lana</i>)	
"Potting" (<i>telas de lana</i>)	
"Crabbing" (<i>telas de lana</i>)	
Otras	
TINTORERIA	
TRATAMIENTOS DE PREPARACIÓN	
Lavado	
Descrude	
Desencolado	
Mercerizado	
Blanqueo químico y/o óptico	
Otros	
TRATAMIENTOS DE COLORACION	
Teñido (<i>tipo de colorantes y procedimientos</i>)	
% de colorante sobre el peso de la tela	
Tipo de auxiliares	
% de auxiliares sobre el peso de la tela	
Estampación, <i>¿con colorantes o con pigmentos?</i>	
ESPECIFICACIONES	
Cuenta (<i>hilos por cm, en urdimbre y trama</i>)	
Peso, g / m ²	
Ancho, cm	
Encogimiento % (<i>en sentido de urdimbre y trama</i>)	
Resistencia al desgarre, kg (<i>en sentido de urdimbre y trama</i>)	
Resistencia a la tracción, kg (<i>en sentido de urdimbre y trama</i>)	
Resistencia a la abrasión, ciclos	
Resistencia al "pilling", 1-5	
Resistencia al frote seco, 1-5	
Resistencia al frote húmedo, 1-5	
Solideces húmedas, 1-5 (<i>lavado común, cloro, transpiración, etc.</i>)	
Solidez a la luz, 1-8	
Otras	

3.0.0- TEJEDURÍA DE PUNTO

Con los tipos de ligamento que caracterizan a la **tejeduría plana** (*tafeta, sarga y satén*) normalmente se obtienen telas que presentan relativamente poca elasticidad. Para obtener **telas planas** con un alto grado de elasticidad es necesario incluir en trama, o en urdimbre o en ambas, hilados multifilamentos de polímeros elastómeros como, p.ej., el **poliuretano** (*Lycra*). La **tejeduría de punto** en cambio, produce tejidos que son elásticos por la propia característica del ligamento (*ver Secc. 5.0.0*). Son por tanto ideales para confeccionar prendas que se amolden a la forma del cuerpo humano como p.ej. medias, calcetines, guantes, ropa interior, “sweaters”, etc. Tradicionalmente los gorros o bonetes se confeccionaban en tejido de punto y, por ello, a este tipo de tejeduría también, a veces, se le llama “**bonetería**”.

En la **tejeduría de punto industrial** se utilizan **agujas**, que en uno de sus extremos tienen un **gancho** que permite enganchar hilado y pasarlo por dentro de un lazo, o “**punto**”, formado anteriormente. En el otro extremo, las **agujas** tienen un **talón** que va insertado en un “**cerrojo**” de la máquina (*ver figuras 6.53 a 6.55*). Un “**carro**” móvil recorre un circuito (“**needle path**”) guiado por el “**cerrojo**”. De esa manera va empujando los “**talones**” y desplazando así a las **agujas** para que puedan enlazar el hilado que es alimentado a la máquina. Luego las **agujas** forman un punto “nuevo” pasando hilado por dentro de un punto “viejo”. Otras piezas fundamentales de las máquinas de tejer son las “**platinas**” (*ingl. “sinker”*), pequeñas láminas de diversas formas, que al ser desplazadas en el circuito de otro “**cerrojo**” (“**sinker path**”) - también por el movimiento del “**carro**” - colaboran con las **agujas**, empujando el hilado, para la construcción del “**punto**”.

3.1.0- Tejido de punto por trama y por urdimbre.

En una máquina que teje **por trama**, todas las agujas, o un grupo de ellas, durante un ciclo, son alimentadas **una tras otras**, sucesivamente, con el mismo hilo de trama para formar una “**carrera**”. El hilo corre horizontalmente, de lado a lado, a través del ancho de la tela y cuando se tira de un hilo suelto, la tela se desteje. Todos los puntos de una “**carrera**” están hechos con el mismo hilo pero el tipo de hilo puede cambiar de una carrera a otra (*p.ej. distinto color*), si el diseño así lo requiere. Las máquinas que tejen **por trama** pueden ser **rectilíneas** o **circulares**. Las máquinas **circulares** pueden ser de dos tipos: para **jersey simple** o para **jersey doble**. En las máquinas de **jersey simple** cada aguja de una bancada puede tirar del hilo y hacer el punto solo en una dirección. Esto hace que los tejidos de **jersey simple** tiendan a enroscarse por los bordes, pero este inconveniente puede luego obviarse al confeccionar la prenda. Las máquinas de **jersey doble** poseen doble “frontura”, con dos filas de agujas enfrentadas (*a 90°, 180° u otros ángulos*) y tejen tejidos dobles, con ambas caras iguales o casi iguales, y se obtienen tejidos más estables (*p.ej. el “interlock”*). Lógicamente, las variantes de diseño para un **jersey doble** son mayores que para un **jersey simple**. Algunas máquinas **rectilíneas** pueden tejer sin desperdicio haciendo el “**menguado**” necesario para cada parte de una prenda (*máquinas “full-fashion”*). Con las máquinas **circulares** se obtiene mayor producción pero, para confeccionar una prenda, la tela “**circular**” o “**tubular**” se debe cortar con el consiguiente desperdicio.

En una máquina que teje **por urdimbre** se alimenta hilo, desde un guía-hilo, a cada una de las agujas. Se forman todos los puntos de la carrera a la vez, con la intervención de **todas las agujas** simultáneamente (*ver figuras 6.57 y 6.66*). El tejido de punto **por urdimbre** crece en forma paralela al orillo. Cuando se tira de un hilo suelto la tela no se desteje. El tejido **por urdimbre** se produce solo en máquinas **rectilíneas**.

La tejeduría de punto es mucho más económica que la tejeduría plana pues no se requiere ni urdido ni encolado previo. Además, actualmente algunas máquinas de última generación, son

capaces de tejer con los “menguados” o cambios de forma que corresponda, y hacer la prenda completa, pronta y terminada, sin ninguna costura. Simplemente en un ordenador se determina: **a)** el modelo de la prenda, **b)** los tipos de ligamentos a usar (*se pueden combinar más de un tipo de ligamento en una misma prenda*) y, **c)** el diseño con sus variantes de colores. Con esta información la máquina teje la prenda completa.

Una variante especial de tejido de punto es el **encaje artesanal**, hecho a mano. Contiene zonas de alta densidad unidas por hilos que dejan grandes espacios entre ellas. Existen diversas técnicas, antiguas y tradicionales, para producir encajes.

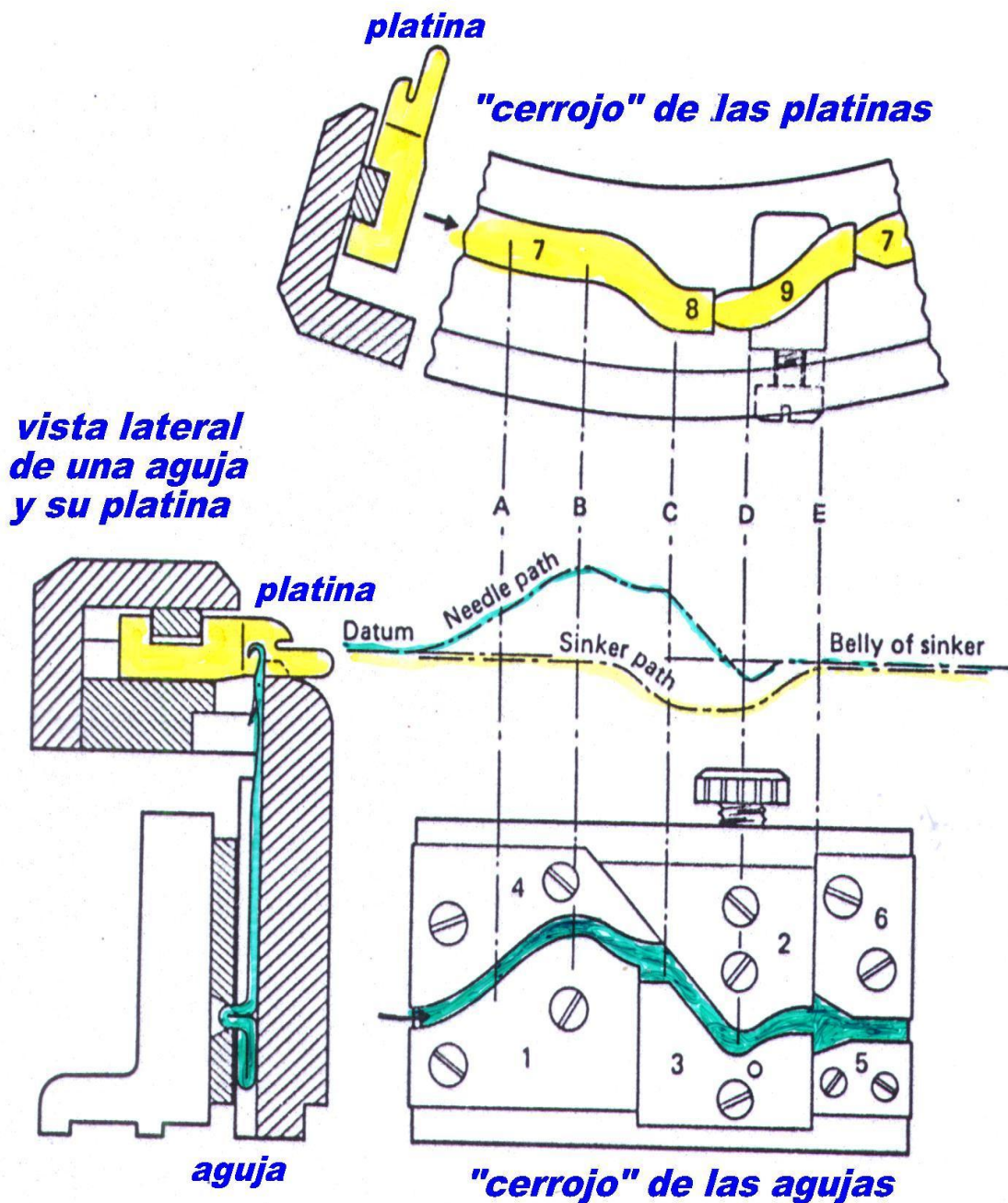


Figura 6.53 (Tomada de "Knitting Technology", David J. Spencer, ver referencias bibliográficas)

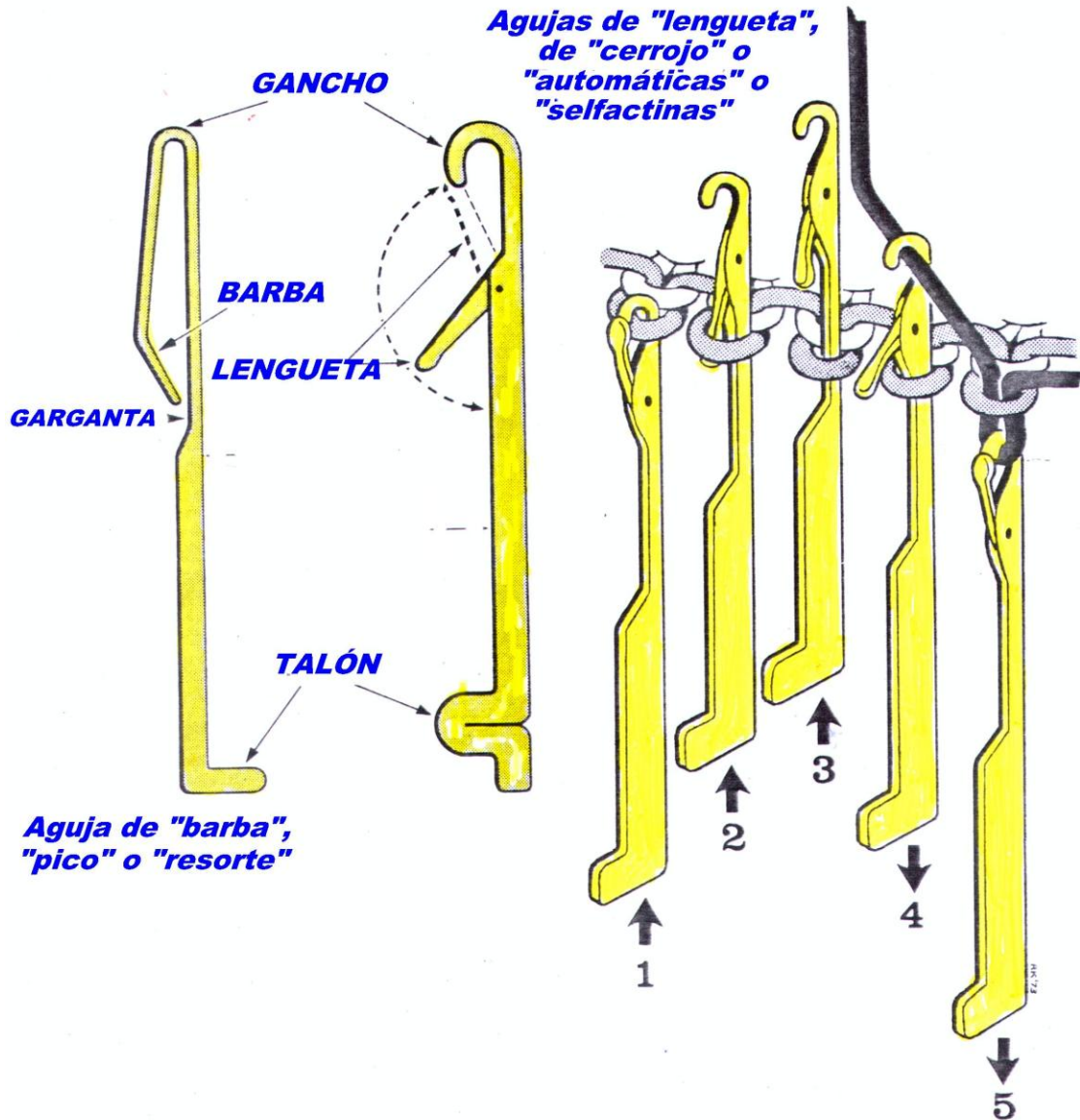


Figura 6.54

TIPOS DE AGUJAS Y SECUENCIA DE LA FORMA EN QUE TRABAJA LA AGUJA DE LENGÜETA:
 En 1, 2 y 3, la aguja se eleva y al pasar por el punto viejo, éste abre la lengüeta. En 4, cuando la aguja vuelve a descender, engancha hilo o es "alimentada" y al pasar por el punto viejo la lengüeta se vuelve a cerrar. En 5 la aguja pasa y forma un punto nuevo

LA INTERACCIÓN DE PLATINA Y AGUJA

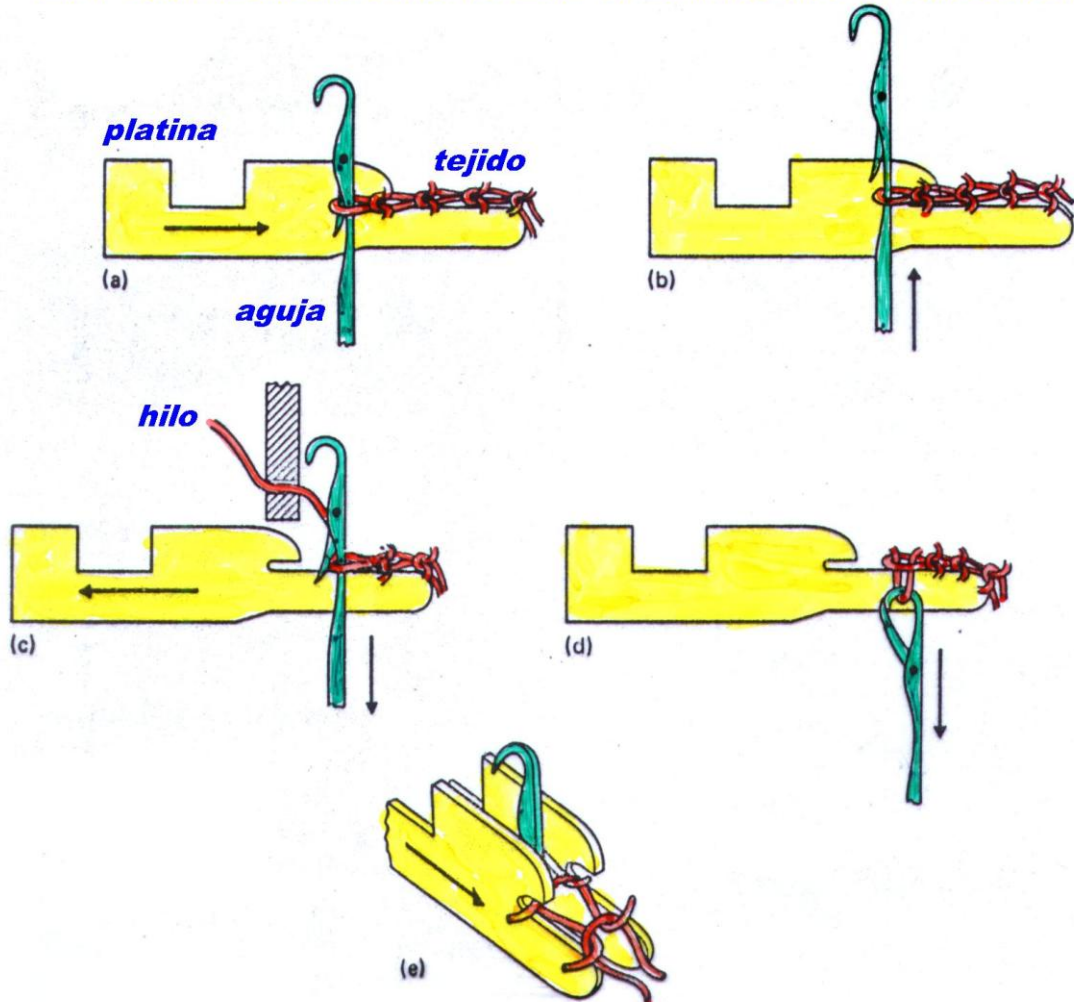


Figura 6.55

(a) La platina avanza hacia la derecha sosteniendo el punto viejo mientras la aguja se eleva y se abre su lengüeta. (b) la aguja está arriba y el punto viejo ha sido liberado. (c) la platina se ha retirado parcialmente para permitir que la aguja sea alimentada con hilo y el punto viejo se deslice hacia arriba y quede debajo de la lengüeta abierta. (d) la platina se retira completamente hacia la izquierda, la aguja baja y forma un punto nuevo pasando por adentro del punto viejo. (e) la platina se mueve otra vez hacia la derecha para sujetar el punto nuevo en su garganta para iniciar un nuevo ciclo. Figura tomadas de "Knitting Technology", David J. Spencer (ver referencias bibliográficas)

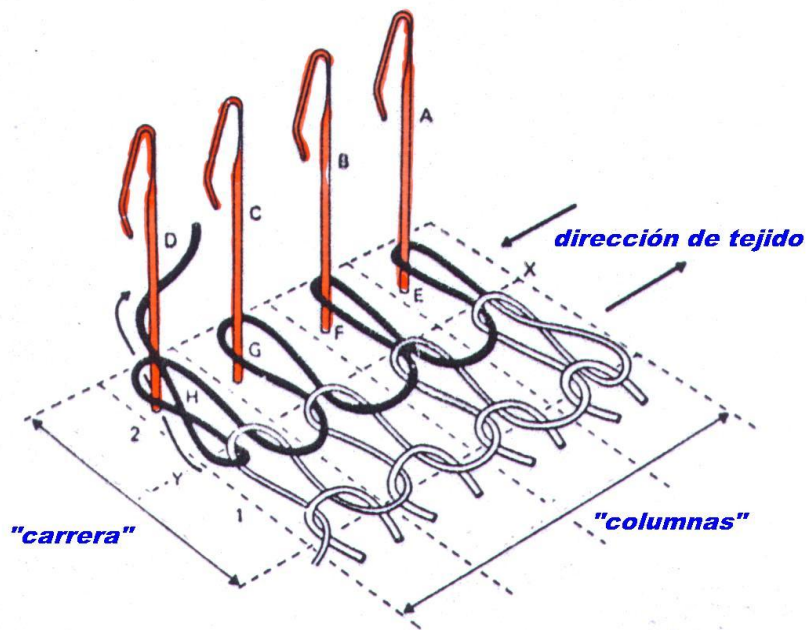


Figura 6.56
TEJIDO DE PUNTO POR TRAMA

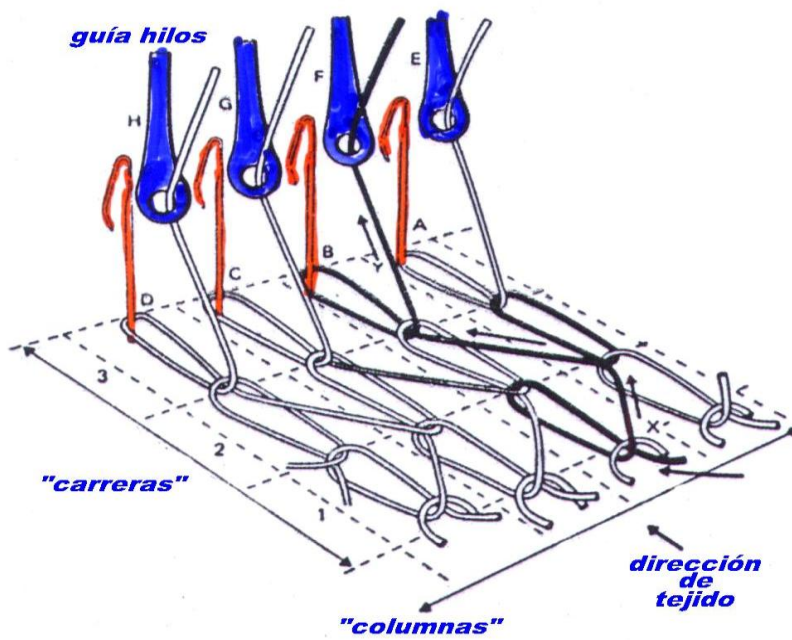


Figura 6.57
TEJIDO DE PUNTO POR URDIMBRE

Figuras tomadas de "Knitting Technology", David J. Spencer (ver referencias bibliográficas)

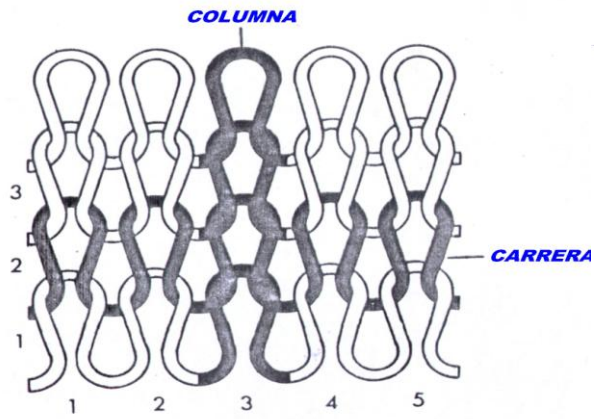


Figura 6.58 - **LIGAMENTO JERSEY SIMPLE**

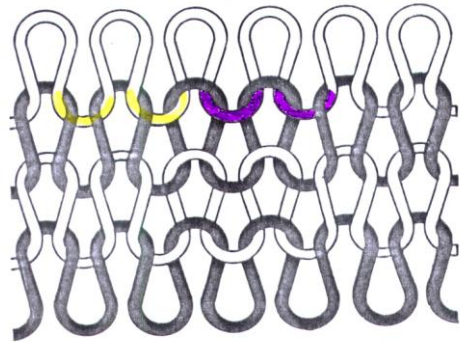


Figura 6.59 - **LIGAMENTO ACANALADO**

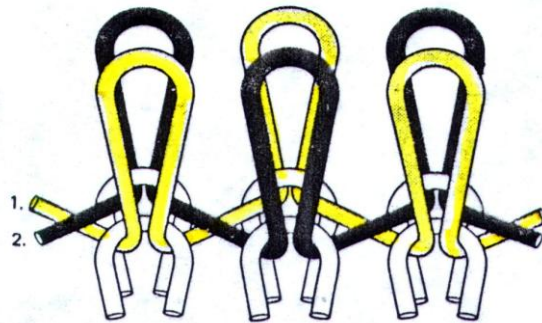


Figura 6.60 - **LIGAMENTO "INTERLOCK"**

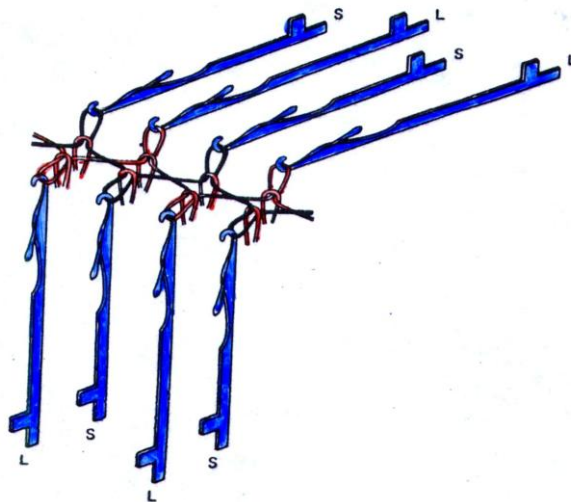


Figura 6.61

DOBLE "FRONTURA" DE AGUJAS PARA TEJER "INTERLOCK"

Figuras tomadas de "Knitting Technology", David J. Spencer (ver referencias bibliográficas)

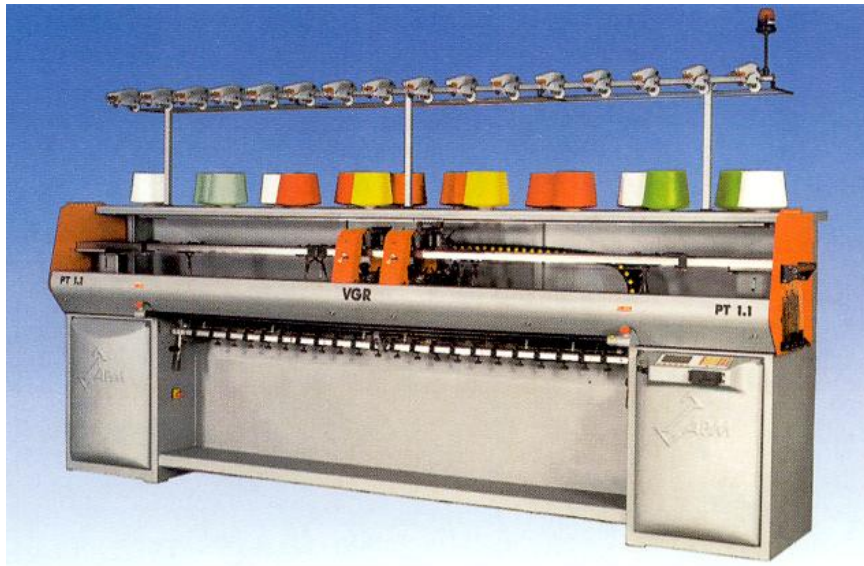


Figura 6.62 - MÁQUINA DE TEJER DE PUNTO, RECTILÍNEA

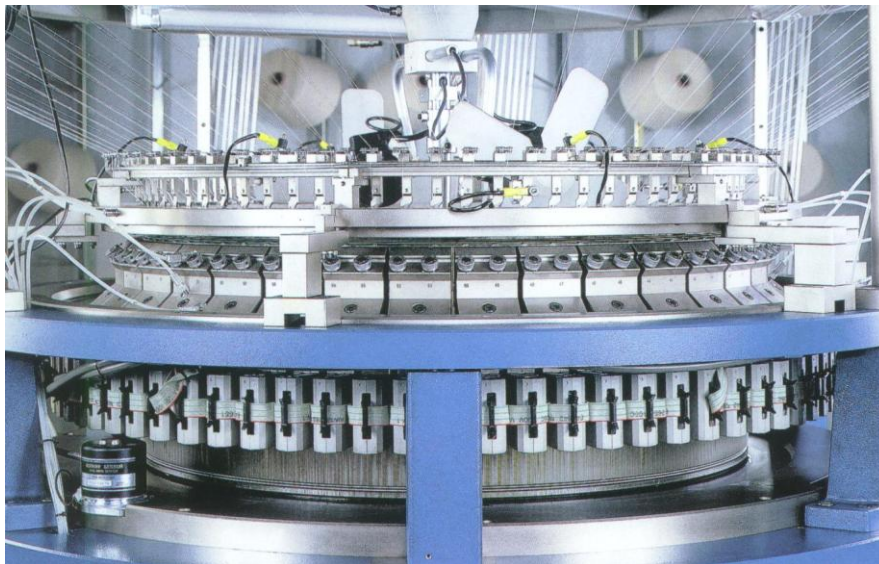


Figura 6.63 - MÁQUINA DE TEJER DE PUNTO, CIRCULAR

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE UNA MÁQUINA DE TEJIDO DE PUNTO CIRCULAR
(Un modelo cualquiera tomado como ejemplo)

DIAMETRO DEL CARRO: 30-33 pulgadas

CANTIDAD DE AGUJAS: 2500

CANTIDAD DE GUÍA-HILOS Y CERROJOS: 128

VELOCIDAD DE GIRO DEL CARRO: 25 rpm

GALGA: cantidad total de agujas dividida por el perímetro del carro, en pulgadas = $2500 / 3,14 \times 33 = 24$

CANTIDAD DE PUNTOS POR MINUTO: rpm del carro x cantidad de agujas operativas

LARGO DEL PUNTO: alimentación del hilo en m/min dividida por la cantidad de puntos por minuto



Figura 6.64- **ALGUNAS TELAS DE TEJIDO DE PUNTO**

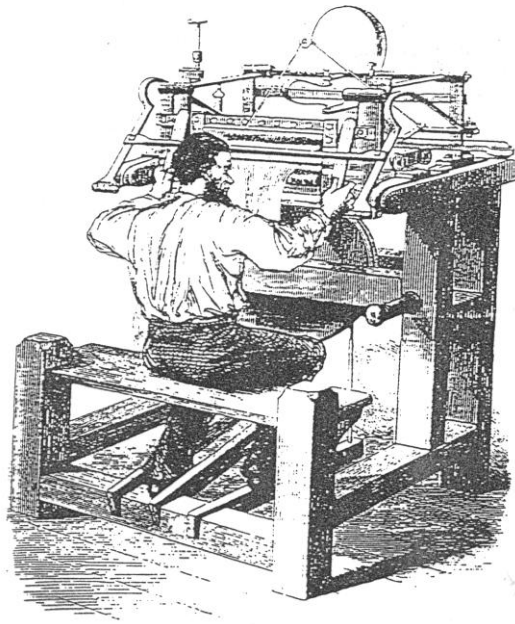


Figura 6.65
**LA MÁQUINA TEJEDORA DE PUNTO CREADA POR WILLIAM LEE
 EN 1590, CASI 200 AÑOS ANTES DEL INICIO DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL**

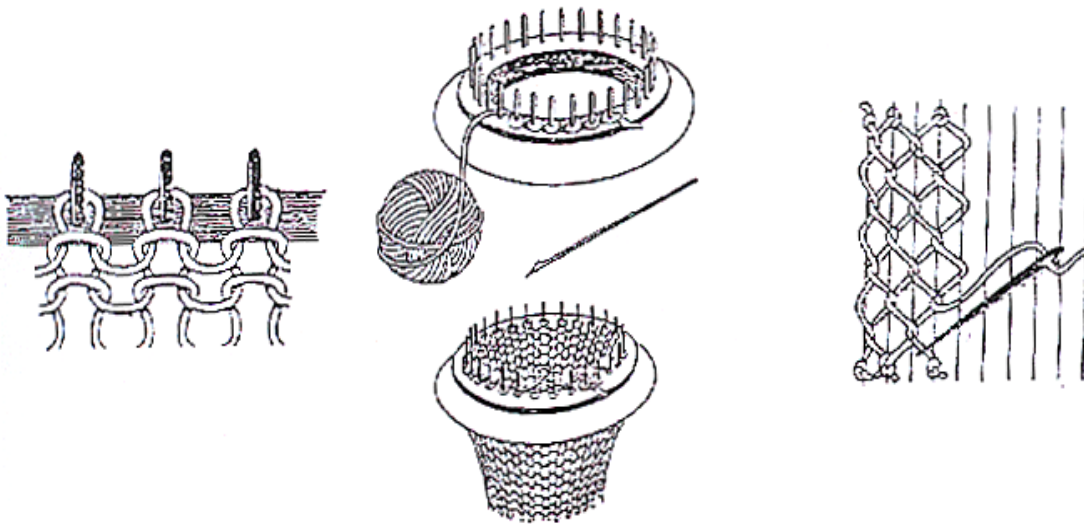


Figura 6.66
 Representación esquemática del tejido de punto por trama (circular) y por urdimbre

TABLA 6.6 - ALGUNOS ARTÍCULOS DE LA TEJEDURÍA DE PUNTO

	ARTÍCULO	TIPO DE LIGAMENTO	MÁQUINA
TELA	<i>Tejido de punto por trama</i>	<i>jersey simple y doble, interlock, velour, high pile, etc.</i>	<i>CIRCULAR por trama RECTILINEA por trama</i>
	<i>Tejido de punto por urdimbre</i>	<i>tricot, kettenshtul, raschel, encajes, puntillas, redes de pesca</i>	<i>RECTILÍNEA por urdimbre</i>
PRENDAS	<i>Medias de dama</i>	<i>jersey simple</i>	<i>CIRCULARES por trama, galgas finas</i>
	<i>Calcetines, guantes</i>	<i>jersey simple, acanalado, interlock</i>	<i>CIRCULARES por trama (galgas gruesas)</i>
	<i>Ropa interior</i>	<i>jersey simple, interlock</i>	<i>RECTILÍNEAS por trama</i>
	<i>"Sweaters"</i>	<i>diversos puntos</i>	<i>RECTILÍNEAS con menguado ("full fashioned")</i>
	<i>Bonetes, cordones, etc.</i>	<i>diversos puntos</i>	<i>RECTILÍNEAS por trama</i>

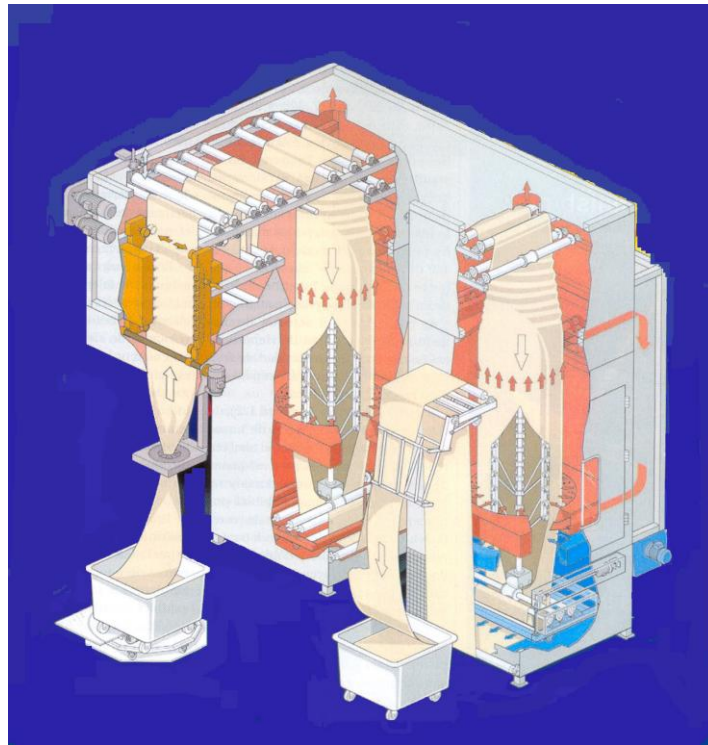


Fig. 6.66

TERMOFIJADO CONTINUO DE TEJIDO DE PUNTO CIRCULAR
(tejidos de poliéster, poliamida, elastómeros, etc.)

MODELO DE ORDEN DE PRODUCCION PARA TEJIDO DE PUNTO	
Fecha: / / metros..... Kg..... Uso final.....	
TEJEDURIA	
Tipo de ligamento (<i>jersey, interlock, etc.</i>)	
Maquina circular, rectilínea u otra	
Galga	
Tipo de hilado (<i>R/S, O/E, etc.</i>)	
Título del hilado (<i>Tex, Denier, Ne, Nm</i>)	
Torsiones por metro del hilado (<i>S oZ</i>)	
TRATAMIENTOS HUMEDOS	
Lavado	
Mercerizado	
Blanqueo químico y / o óptico	
Aprestado	
Suavizado	
Otros	
TINTORERIA	
Teñido (<i>tipo de colorantes y procedimiento</i>)	
% de colorante sobre el peso de la tela	
Tipo de auxiliares	
% de auxiliares sobre el peso de la tela	
ESPECIFICACIONES	
Densidad de puntos (<i>puntos por cm</i>)	
Peso, g / m ²	
Ancho, cm	
Resistencia al desgarre, kg	
Resistencia a la tracción, kg	
Resistencia a la abrasión, ciclos	
Resistencia al "pilling", 1-5	
Resistencia al frote seco, 1-5	
Resistencia al frote húmedo, 1-5	
Solideces húmedas, 1-5 (<i>lavado, cloro, transpiración, etc.</i>)	
Solidez a la luz, 1-8	
Otras	

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Knitting Technology", David J. Spencer, Pergamon Press, Headington Hill Hall, Oxford, OX3 OBW, England, 1989
- 2- "Knitting Technology", David J. Spencer, 3rd. Edition, Woodhead Publ. Ltd., England, 2004
- 3- "Physical Testing of Textiles", B.P.Saville, Woodhead Publishing Ltd.,
<sales@woodhead-publishing.com>
- 4- "Handbook of Technical Textiles", Ed. A.R.Harrocks, S.C.Anand, The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England.

4.0.0- TELAS "NO TEJIDAS"

Las telas "*no tejidas*" o "*guatas*" no se producen ligando hilados entre sí, como en la tejeduría convencional plana o de punto, sino por la unión directa de *fibras* entre sí. De este modo, estos materiales se asemejan al *papel*, que sería un "no tejido" de fibras de celulosa provenientes de la madera. ASTM en su norma D1117-80 define a un "no tejido" como "*una estructura textil obtenida por unión y/o entrelazado de fibras por medio de procedimientos mecánicos, químicos, térmicos o una combinación de ellos; por tanto en esta definición no estaría incluido el papel*". Es conveniente recordar que los *fieltros* hechos directamente a partir de *fibras de lana* son, quizás, el antecedente más antiguo de una "tela no tejida". Sin embargo, con fibras que no se afieltren como la lana, es necesario emplear técnicas de producción especiales. Los diferentes procesos que se utilizan actualmente para producirlas incluyen dos operaciones básicas: **1) la formación de un velo de fibras** (*ingl.*, "*web forming*") y posteriormente, en muchos casos, la **formación de una napa de velos** (*ingl.* "*batt forming*") y **2) la consolidación del velo o de la napa**, por unión o cohesión de las fibras entre sí (*ingl.*, "*web bonding*").

Los pesos de los "no tejidos" pueden ir de 10 g/m² a 500 g/m² y por sus densidades aparentes se pueden agrupar en de baja y alta densidad ("*low and high loft*"). Las fibras que se pueden utilizar para hacer un "no tejido" son prácticamente todas, tanto cortas o cortadas como filamentos.

4.1.0- FORMACIÓN DE VELOS Y NAPAS

4.1.1- Por Cardado

En este proceso las fibras, cortas o cortadas, son separadas y paralelizadas en *cardas*, similares a las que se usan en las primeras etapas de la hilandería. A medida que se forma el velo, un peine va retirándolo del último tambor de la carda o "*doffer*". Este velo será más resistente en la dirección de avance de la máquina que en sentido transversal. Algunas cardas poseen mecanismos que van cambiando la dirección del *velo*, superponiéndolo y/o plegándolo periódicamente, para que la *napa* resultante presente fibras orientadas transversalmente, de forma que las propiedades mecánicas en sentido longitudinal y transversal sean más equilibradas (*Ver Figura 6.67*). La producción de materiales de filtración, entretelas, napas de fibras super absorbentes (*ver Cap. 2, "Fibras Textiles", "Higroscopicidad"*), etc. son algunas de las aplicaciones más comunes para los "no-tejidos" cardados. Para su producción se pueden usar tanto fibras naturales como químicas. Para los "no tejidos" hechos con filamentos continuos, se utilizan otros procedimientos de formación del velo que se comentan más abajo.

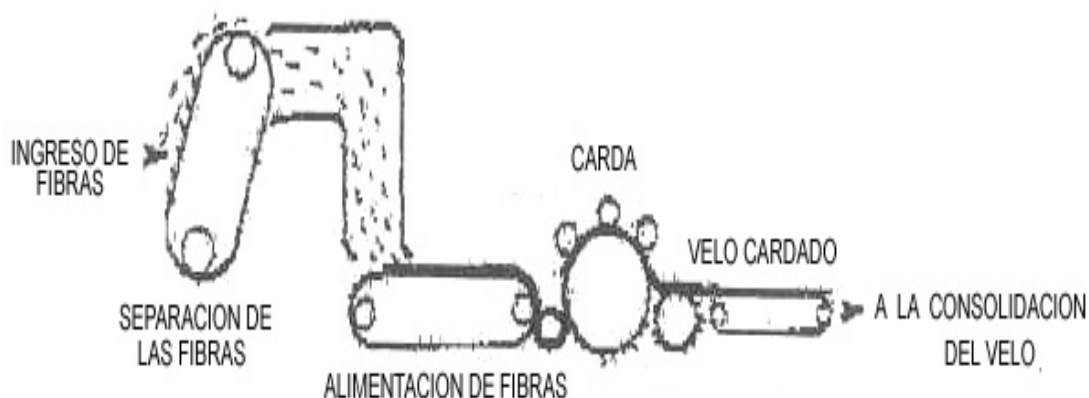
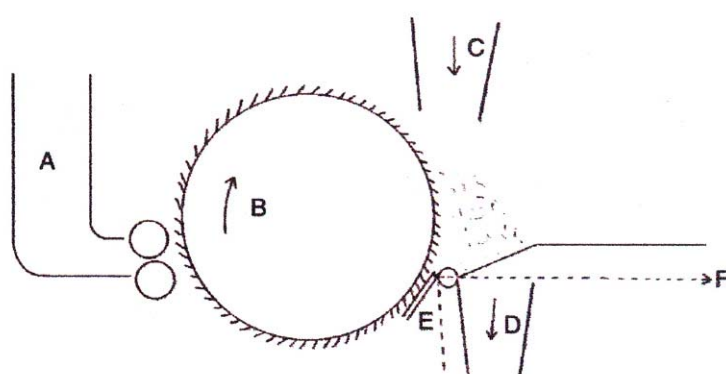


Figura 6.67 –CARDADO

4.1.2- Por método "Airlaid"

Por este método se produce directamente **napas** - sin pasar por la formación de un velo - con altas velocidades de producción. Como se muestra en la Figura 6.68 una corriente de aire desprende las fibras transportadas en la guarnición de un tambor de carda y las deposita sobre una cinta en movimiento. Esta cinta está perforada y el vacío aplicado desde abajo contribuye a la formación de la napa. El espesor de la napa dependerá del ángulo que forma el plano inclinado - donde van cayendo las fibras - con respecto al plano horizontal de la cinta transportadora. Con este método se obtienen relaciones de resistencia a la tracción de 2,5 a 1 entre el sentido de la máquina y el sentido transverso, lo que está lejos aún de corresponder a una distribución uniforme de las fibras en la napa. Este método, junto con el cardado, es un método "seco".



A - Tolva de Alimentación de Fibras, B - Tambor de Carda, C - Aire
D - Succión, E - Peine Sacador, F - Cinta Transportadora de Napa

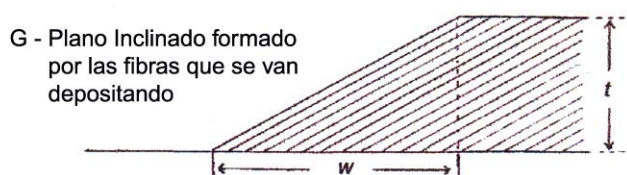


Figura 6.68 - "AIRLAID" (adaptado de Ref. Bibl. 3)

4.1.3- Por método "Wetlaid"

Este método permite velocidades de producción muy altas. Una dispersión en agua de fibras textiles muy cortas, 6 a 20 mm, es filtrada en una mesa vibratoria del tipo de las empleadas en la industria papelera. Mezclas 50/50 de fibras textiles con fibras de celulosa de madera estarían en el límite entre "no tejido" y papel. Este tipo de material se usa para elaborar algunos artículos descartables de uso médico.

4.1.4- Por método "Flash"

Es una técnica especial que consiste en disolver el polímero (*generalmente poliolefinas*) en un solvente adecuado, y extruir la solución, a una temperatura adecuada, formando un film muy delgado. A la salida de la extrusora, por la disminución brusca de presión, el solvente se evapora rápidamente haciendo que el film se transforme en una masa de burbujas. El conjunto de estas burbujas posee una gran área superficial y un espesor muy delgado. Al estirar en frío esta masa de burbujas, con una alta relación de estiraje, se logra una alta resistencia a la tracción

longitudinal. Pero debido a que las uniones transversales entre las cadenas poliméricas son, en cambio, muy débiles, esta masa se puede dividir fácilmente en filamentos, en una operación conocida como "fibrilación". Estos filamentos quedan unidos entre sí, en puntos separados a intervalos variables, generando films con propiedades muy interesantes, de gran resistencia, y que compiten con el papel en muchas aplicaciones. El Tyvek de Du Pont es un material obtenido por este procedimiento, con **polietileno**, utilizado para confeccionar prendas de protección para derrames químicos y de alta resistencia a los agentes atmosféricos (ver fig. 6.72 y 6.73)

4.1.5- Por método "Spunbonded"

En este proceso se forma el velo utilizando sólo **filamentos continuos**, que nunca se cortan, y son distribuidos al azar sobre una superficie que actúa de soporte. Estos filamentos se forman a partir de un polímero termoplástico que se funde y se extrude a través de un "spinirette". Los filamentos así formados son enfriados rápidamente en una corriente de aire y estirados hasta alcanzar la densidad lineal deseada y una alta resistencia a la tracción ("*cold drawing*"). Luego se van depositando entremezclados en una cinta transportadora para formar un velo que, en general, se consolida por calandrado caliente (ver Figura 6.68). Estos "no tejidos" son utilizados principalmente en la elaboración de artículos descartables para uso médico, geotextiles, base de alfombras, etc. Una de las fibras más utilizada para producir no tejidos para prendas descartables de uso médico es el **polipropileno**.

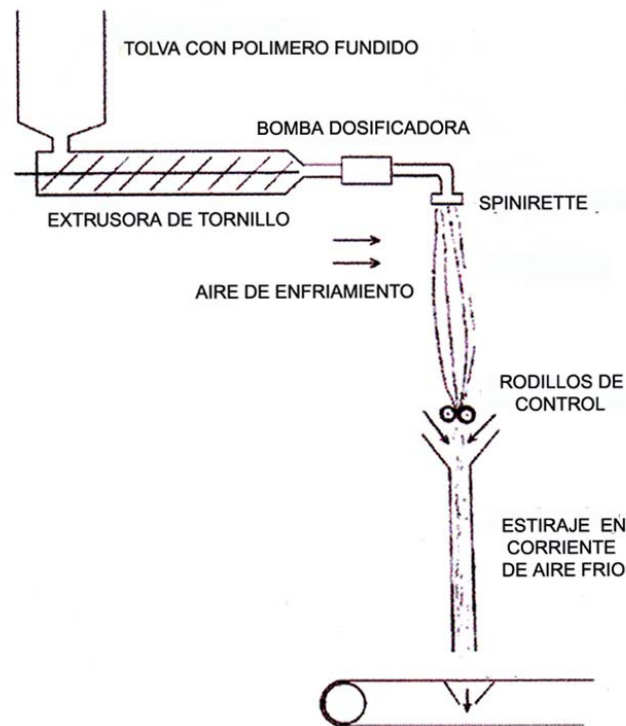


Figura 6.69 – "SPUNBONDED" (adaptado de Ref. Bibl. 3)

4.1.6- Por método "Meltblown"

Es un proceso similar al "spunbonded" con la diferencia de que los filamentos son formados y atenuados en medio de una corriente de aire caliente a alta velocidad. El aire caliente y el polímero fundido llegan juntos a la boquilla de salida. Se obtienen así filamentos muy **delgados** que luego se unen por una combinación de enredado y termofusionado, obteniéndose un

material de menor resistencia mecánica que los "spunbonded" pero con mejores propiedades absorbentes y filtrantes. La menor resistencia mecánica de los "meltblown" es debida a que los filamentos son más delgados y, al no ser estirados en frío, tienen una menor resistencia a la tracción. Muchos de estos no tejidos no se calandran para que mantengan su estructura elevada y esponjosa.

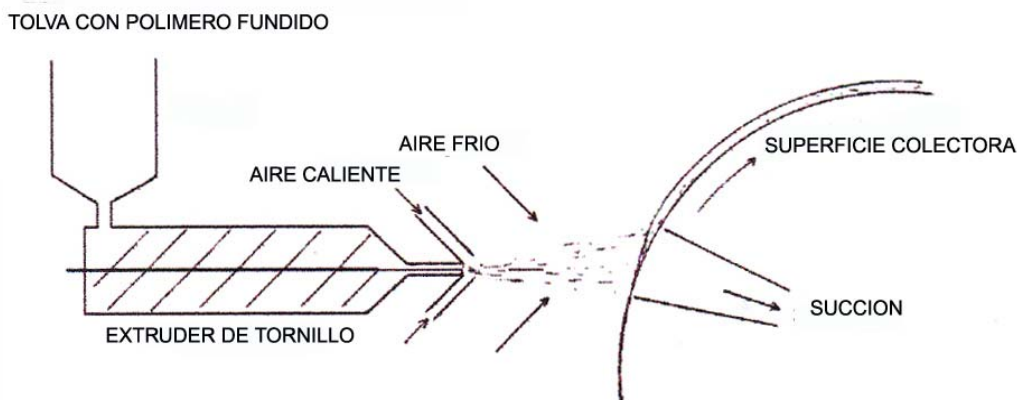


Figura 6.70 – "MELTBLOWN" (adaptado de ref. bibl. 3)

4.2.0- CONSOLIDACIÓN DE VELOS Y DE NAPAS

Una vez formados, el velo o la napa, estos pueden ser *consolidados* de varias maneras.

4.2.1- Con Adhesivos

Como *adhesivos líquidos* se utilizan látices de vinil acetato, estireno butadieno y acrílicos, aplicados a spray, en baño de inmersión, en baño de espuma o por aplicación localizada en puntos. Luego se pasa el material, con el adhesivo incorporado, por un túnel de secado y, en sus tramos finales, de curado.

En procesos más económicos desde el punto de vista del consumo de energía, se utilizan adhesivos termofusibles, como polvos o fibras termofusibles o fibras no termofusibles pero revestidas de una vaina termofusible (*fibras bicomponentes*), que se mezclan, en cierta proporción y en forma homogénea, con la mayor parte de las fibras del velo o napa, para luego someter a estos a un calandrado caliente.

4.2.2- Por Punzonado

Se puede consolidar el velo o la napa punzonando perpendicularmente, en algunos puntos, con agujas que enganchan y enredan las fibras entre sí. Este punzonado puede hacerse también con finos chorros de agua a alta presión (*"spunlaced"* o *"hydroentanglement"*). Este último procedimiento tiene la ventaja de que al utilizar fibras naturales, como p.ej. *algodón* - y no adicionarse productos químicos adhesivos - permite obtener materiales aptos para el contacto directo con la piel, p. ej. para usos médicos y sanitarios, sin riesgos de reacciones alérgicas y otros inconvenientes. Los "no tejidos" triples *SMS* (*"spunlaced"* + *"meltblown"* + *"spunbonded"*) son actualmente muy usados en prendas descartables para block quirúrgico. La capa "spunlaced", por su suavidad y ausencia de productos químicos, es la que debe estar en contacto con la piel, la capa central "meltblown" es filtrante y absorbente, y la capa externa "spunbonded" actúa como barrera impermeable. Las telas "spunlaced" de algodón y de otras fibras pueden ser estampadas y terminadas en formas muy atractivas lo que augura un gran futuro para estos materiales en una gran cantidad de aplicaciones.

4.2.3- Por Costura

El velo o napa se puede coser con hilo, en puntos separados entre sí, obteniéndose una diversidad de "no tejidos", generalmente gruesos, que se utilizan mucho como aislantes y para usos decorativos.

4.2.4- Por Calor

Si el velo está formado por fibras termoplásticas (*artificiales o sintéticas*), al ser calentado por encima de la temperatura de transición T_a (*correspondiente al ablandamiento de las regiones amorfas*) y por debajo de la temperatura de transición T_c (*correspondiente al ablandamiento de las regiones cristalinas*), las fibras se ablandarán y se pegarán unas con otras y, al enfriar, el velo quedará consolidado. Para lograr este tipo de consolidación pueden incluirse en el velo solamente un porcentaje de fibras con bajas T_a y T_c , Estas fundirán a bajas temperaturas y actuarán como un adhesivo o unión para el conjunto del velo.

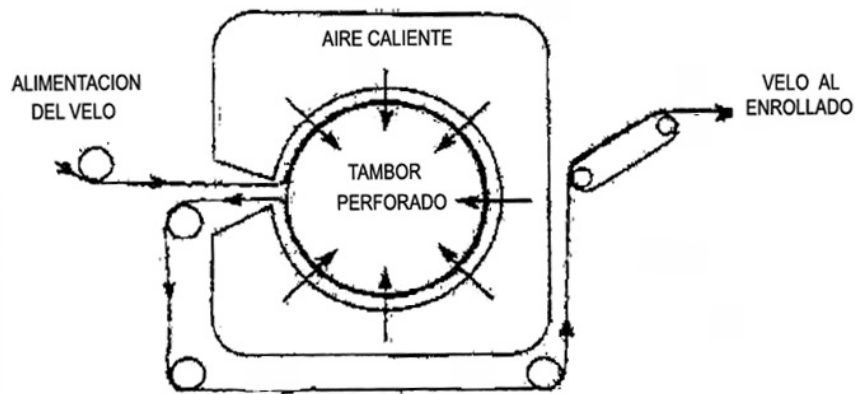


Figura 6.71
CONSOLIDACIÓN DEL VELO CON AIRE CALIENTE

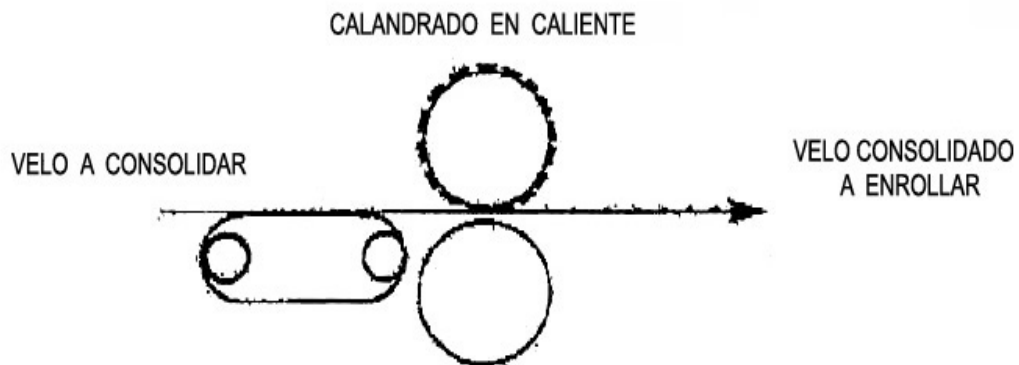


Figura 6.72
CONSOLIDACIÓN DEL VELO POR CALANDRADO CALIENTE

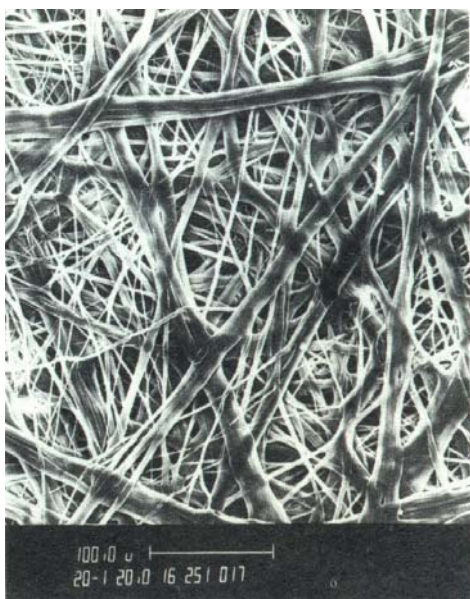


Fig. 6.73 – No tejido “spunbonded” de filamentos de polietileno



Fig. 6.74- Prendas protectoras de hechas con Tyvek, marca registrada de DuPont

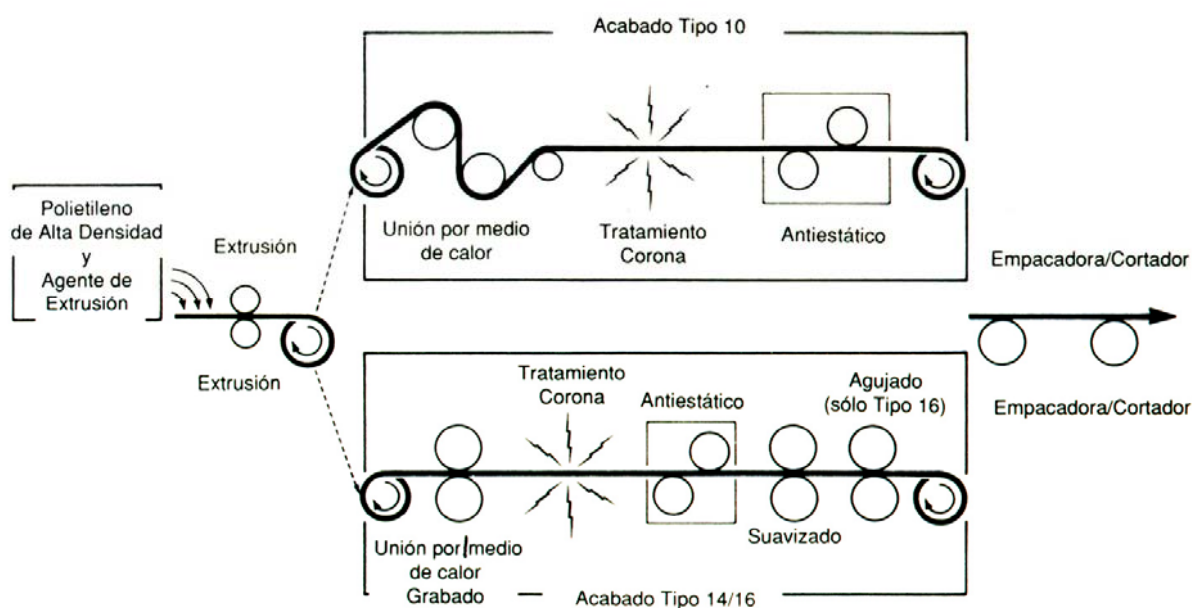


Fig. 6.75– Proceso “spund bonded” para la producción de tela no tejida con filamentos de polietileno (Tyvek, marca registrada de DuPont)

BIBLIOGRAFÍA

- 1- *Synthetic Fibres. Machine and Equipment. Manufactures, properties, etc.* Hanser Publishers, Munich, Germany
- 2- *“Nonwoven Textiles”*, O.Jirsák, Woodhead Publ. Ltd., sales@woodhead-publishing.com)
- 3- *“Nonwoven Fabrics”*. Philip A. Smith, University of Leeds.Cap. 6, “Handbook of Technical Textiles”, Edited by A.R.Horrockes and S.C.Anand, The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England

5.0.0- LA “MANO” Y LA “CAIDA” DE LAS TELAS

La “**mano**” es una característica **táctil** resultante de propiedades tales como la *suavidad*, la *compresibilidad* y la *elasticidad* de la tela. La “**caída**” o “**drapeado**” es una característica **visual** resultante de la *flexibilidad* o capacidad de la tela para doblarse por su propio peso formando pliegues agradables. La “caída” de la tela tiene gran influencia en el aspecto final de la prenda y debe ser tenida muy en cuenta por el diseñador. Con los sistemas de ensayos Kawabata y Fast es posible evaluar y comparar telas en forma objetiva. Un método sencillo para la determinación objetiva de la “caída” de las telas se describe más abajo.

La **extensibilidad** y la **compresibilidad**, la **flexibilidad** y la **recuperación elástica** de la tela, son propiedades mecánicas diferentes, pero que están muy relacionadas entre sí. Estas propiedades son el resultado, básicamente, de: **1) el tipo de ligamento**, **2) los hilados** utilizados y, **3) los procesos de terminación y recubrimientos aplicados**.

1- El tipo de ligamento

Suponiendo que se utilice el mismo tipo de hilado, las telas de **tejido de punto** serán, en general, mucho más elásticas que las telas de **tejido plano**. Por el tipo de ligamento, cualquier tejido de punto tendrá más elasticidad y adaptación a la forma del cuerpo humano que un tejido plano, ya sea este *tafeta*, *sarga* o *satén*.

En una tela plana, la **cantidad de hilos por centímetro lineal** (*en urdimbre y en trama*) determinará la cantidad de puntos de cruce por cm² lo que, junto con las características del hilado y el peso final de la tela (**g/cm²**), influirá en la “caída”. Lo mismo podemos decir de la cantidad de puntos por centímetro en un tejido de punto.

En el caso de las **telas “no tejidas”**, la elasticidad dependerá en gran medida del método de consolidación del velo que se haya seguido: por punzonado, por agregado de adhesivos o por termofusionado. La cantidad de napas que formen el “no tejido” también influirá en la elasticidad final.

2- El hilado

La **composición química** y la **estructura molecular** del polímero del que está formado la fibra condicionará el **módulo de elasticidad**, la **recuperación elástica**, la **tenacidad**, etc. de las mismas. Esto a su vez condicionará las propiedades elásticas de los **hilados** hechos con esas fibras y de las telas tejidas con esos hilados (*ver Cap.2, “Fibras Textiles”, Sección “Propiedades Mecánicas”*).

Si se trata de una fibra natural con *rizo*, como p.ej. la lana, o de una fibra artificial o sintética *cortada* a la que se le ha insertado “**crimp**” o de un filamento artificial o sintético que ha sido **texturizado**, esto también influirá en la elasticidad del hilado hecho con estas fibras y por ende en la elasticidad final de la tela hecha con esos hilados. El **método de hilatura**, p.ej. **R/S**, **O/E**, **hilado de multifilamento**, etc., también influirá en la elasticidad del hilado y de la tela tejida con ese hilado (*ver Tabla 6.7*)

El **título**, el **número de cabos** y la **cantidad de torsión y retorsión (T/m)** influirán también mucho en la elasticidad de un hilado de fibras discontinuas y de las telas tejidas con el. En hilos formados por dos o más “cabos”, la elasticidad final dependerá no solo de la cantidad de torsión (*igual o distinta*) de cada cabo, sino también de la **cantidad y sentido** de la **retorsión**, que puede ser del mismo sentido o sentido contrario al la de cada cabo (**S** o **Z**).

Los hilados de multifilamentos de *Lycra* (*texturizados o no*) son muy elásticos y se utilizan actualmente mucho en prendas como trajes de baño, medias, etc. Los hilados de multifilamentos

de *Nylon* (*texturizados o no*) siguen a los de *Lycra* en recuperación elástica. El *Nylon* al ser extendido un 8% tiene una recuperación del 100% es decir, total. Cuando se lo extiende un 16%, la recuperación es del 91 %. El *algodón* es relativamente inelástico. Con una extensión del 2% la recuperación es del 74%, con una extensión del 5% la recuperación es de 45%. La *lana*, en cambio, posee gran extensibilidad combinada con una alta recuperación elástica lo que le confiere propiedades únicas. Su recuperación elástica es de 99% para una extensión de 2% y del 63% para una del 20%. La *seda* tiene una recuperación elástica no tan buena como la de la lana, pero superior a la del algodón, pero cuando se extiende más de 2% puede quedar con deformación permanente. La extensibilidad del *lino* es bastante baja (1.8%), sin embargo dentro de ese rango la recuperación elástica es buena. La elasticidad del *rayón viscosa* tampoco es buena: a 2% de extensión el rayón viscosa tiene solo una recuperación del 60%. Si extendemos un filamento o fibra de *viscosa*, al dejarlo libre, no vuelve inmediatamente a su longitud original sino que demora un cierto tiempo ("*elasticidad retardada*" o "*imperfecta*"). Si se extiende en forma rápida la recuperación puede ser nula, quedando con una deformación permanente. El *poliéster* es muy rígido pero dentro de límites restringidos tiene una gran capacidad de recuperación elástica lo cual le confiere a las telas una buena resistencia al arrugado.

3- La terminación

Ciertos procesos de terminación textil pueden afectar la "caída" de las telas: **a)** los tratamientos húmedos producen muchas veces **encogimientos** y esos cambios en las dimensiones de la tela afectan luego sus características elásticas, su "mano" y su "caída": un ejemplo es el batanado y afieltramamiento de las telas de lana, **b)** las terminaciones laneras como el decatizado, el "potting", el "crabbing", etc. fijan las dimensiones de la tela modificando su "mano" y su elasticidad (ver Cap.3, "*Lana. Estructura y Propiedades*"), **c)** el **termofijado** de telas de poliéster o de poliamida para fijar su ancho, cambia también las propiedades elásticas de las mismas, **d)** el **estampado**, especialmente cuando se imprime con pigmentos mas que con colorantes, puede dejar a la tela con una "mano" dura, poco flexible y poco elástica y, finalmente, **e)** la aplicación de **recubrimientos** (*resinas u otros productos*) para conferirle a la tela propiedades especiales (*p.ej. hidrofugas, ignífugas, antiarrugas, etc.*) también afecta las propiedades elásticas de la misma.

TABLA 6.7	
PROPIEDADES DE TELAS TEJIDAS CON HILADOS O/E	
EN COMPARACIÓN CON LAS TEJIDAS CON HILADOS R/S	
ASPECTO	Más homogéneas, menor lustre
TACTO	Más ásperas
FLEXIBILIDAD	Más rígidas
VOLUMINOSIDAD	Más voluminosas
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	Similares
RESISTENCIA AL DESGARRO	Menos resistentes
RESISTENCIA A LA ABRASION	Más resistentes
RESISTENCIA AL "PILLING"	Más resistentes
PILOSIDAD	Menos pilosas
COMPORTAMIENTO AL "PERCHADO"	Inadecuado. Aplicable solo con precauciones

LA DETERMINACION OBJETIVA DE LA “CAIDA” o “DRAPEADO” DE LAS TELAS

- 1) Preparar un disco de material plástico o cartón rígido, por ejemplo de 20 cm de diámetro, y mantenerlo a unos 5 cm de altura, sosteniéndolo por debajo y por su centro con un pie o varilla de madera. Colocar este disco, sostenido por su pie, sobre un soporte recubierto con papel milimetrado
- 2) **Cortar una muestra de tela circular**, de p.ej. 30 cm de diámetro y colocarla sobre el disco de plástico o cartón rígido haciendo coincidir los centros.
- 3) Iluminar desde arriba con una lámpara ubicada de forma que su eje coincida con el centro del disco. Marcar el contorno de la sombra proyectada por el borde de la tela y medir el área que queda delimitada por ese contorno (ver Fig. 6.74). La medición se puede hacer: a) contando los cuadraditos del papel milimetrado, b) recorriendo el borde de la sombra proyectada con un planímetro o, d) “scanneando” la imagen y calculando su área con un programa informático como p.ej. el “Corel Trace”. Calcular el “**índice de caída**” aplicando la siguiente expresión:

$$\text{índice de caída de la tela} = (A - \pi R_2^2) / (\pi R_1^2 - \pi R_2^2)$$

donde A es el área del contorno proyectado, R_1 es el radio de la muestra circular de tela y R_2 , el radio del disco rígido (15 y 10 cm respectivamente para el ejemplo planteado.)

Como (πR_1^2) y (πR_2^2) son constantes, cuanto menor el área del contorno, menor será el “índice” y mejor la “caída” de la tela. Las telas más rígidas producirán un contorno de mayor área, tendrán un “índice” mayor y una peor “caída”.

De acuerdo a este método, y en igualdad de condiciones constructivas, las telas que muestran mejor “caída” o “drapeado” (es decir “índices” más bajos) son las telas de “Tencel”, de seda, de viscosa y de lana. Las telas de algodón tienen pobres características de “caída” y las de lino y poliéster son las de “índices” más altos y por tanto las de peor “caída” o “drapeado”, lo que es de esperar dada la rigidez del lino y el poliéster.

Otro método práctico de determinar la caída de una tela es cortar una muestra cuadrada de tela, sostenerla por el punto medio de un lado e iluminar en forma paralela determinando la forma de los pliegues proyectados sobre una pantalla y medir el largo de su contorno y su ángulo de inclinación. Para las telas planas, estas mediciones deben hacerse en sentido de trama y de urdimbre.

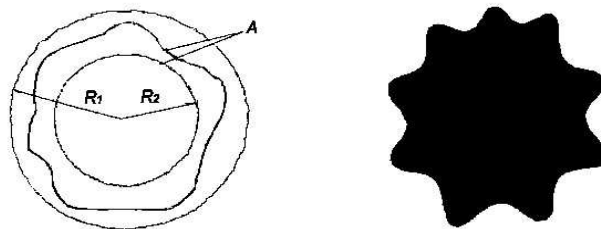


Figura 6.76 – Proyección del “drapeado” de una muestra circular de tela con los datos para el cálculo del índice de drapeado”o “caída”

VARIABLES DE LA TELA QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA AL DETERMINAR SU INDICE DE “CAIDA”

1- Naturaleza de las fibras que componen el hilado, 2- Cantidad de hilos por cm, en urdimbre y trama (para telas planas), 3- Cantidad de puntos por cm (para tejidos de punto), 4- Peso, p.ej. en g/m², 5-Tipo de ligamento, 6-Título del o de los hilados que componen la tela, 7- Cantidad de torsiones por metro insertada en los hilados que componen la tela, 8- Metodo de hilatura utilizado para elaborar los hilados (p.ej. R/S u O/E), 9- Indice de Irregularidad del o de los hilados (U% ò CV%), 10-Tipo y cantidad de acabado o apresto que recibió la tela, p.ej. en g/m²

6.0.0- EL ENCOGIMIENTO DE LAS TELAS

Cuando se teje tela plana en un telar, para que ésta quede bien construida y con sus diseños parejos, los hilos de **urdimbre** se deben mantener bajo tensión y generalmente se les **encola** para que resistan la apertura de la calada. Las telas, especialmente las de **algodón**, luego de retiradas del telar y mientras se mantengan secas, conservan la tensión original. Una vez que la tela se **moja**, las tensiones se aflojan, y **al secar nuevamente** los hilos vuelven a su longitud original y **la tela encoge**. Es éste un "**encogimiento por relajación**", que debe diferenciarse del "**encogimiento por afieltrado**" que sufren las telas de **lana** cuando se las trata con agua caliente, agitación y detergentes.

Las telas de **algodón** al salir del telar y ser sometidas a procesos húmedos como p.ej. el desencolado, descruce, blanqueo, mercerizado, teñido, etc. sufrirán el "**encogimiento por relajación**". Cuando luego el confeccionista las utilice estarán ya prácticamente estabilizadas en sus dimensiones finales. Si en cambio, las telas no han sido previamente sometidas a ningún proceso húmedo (p.ej. las telas "**crudas**"), o han sido tejidas con hilados teñidos previamente (como p.ej. las "**escocesas**", los "**denims**", etc.), saldrán del telar directamente al confeccionista. La prenda resultante sufrirá entonces el "**encogimiento por relajación**" cuando sea lavada por primera vez por el **consumidor final**, con las consiguientes disconformidades y reclamos.

A una tela de algodón cruda, antes de utilizarse en la confección de una prenda, se le debe determinar siempre, por un método standard, su encogimiento y en general este no deberá ser mayor del 1,0-1,5 %, tanto en sentido de trama como de urdimbre. Un método sencillo consiste en marcar un cuadrado de 25 x 25 cm de lado, en un trozo de tela que luego se lava con un procedimiento standard. Luego de secar a la sombra se miden nuevamente los lados del cuadrado en sentido de trama y de urdimbre. Si esta nueva medida en cm (*a la que llamaremos z*) resulta menor que 25, el porcentaje de encogimiento vendrá dado por esta sencilla fórmula:

$$\text{Encogimiento \%} = (25 - z) \times 4$$

Para evitar el "**encogimiento por relajación**" se desarrollaron procesos de **preencogido**. Uno de los más conocidos es el **sanforizado**, patentado por la firma SANFOR de USA y que tiene licenciarios en diversos países. El proceso consiste en impregnar la tela en una solución acuosa que contiene agentes lubricantes, desaereantes, humectantes y suavizantes. Luego se hace avanzar la tela en el sentido de la urdimbre, empujándola y frenándola por delante, de tal forma que se le comprime en una magnitud equivalente a la tensión previa de estiramiento que tenía aplicada. Cuando la tela se moje, los dos efectos se compensarán y la tela, cuando se seque nuevamente, no encogerá.

El encogimiento de telas y prendas de **lana** tiene una causa completamente distinta conocida por el nombre de **afieltrado**. Cuando las telas o prendas de lana son sometidas a tratamientos húmedos calientes y/o pH extremos, con agitación mecánica, se produce un rozamiento interfibrilar excesivo. Como resultado de ese rozamiento interfibrilar las escamas de las fibras se van trabando unas con otras, el tejido se compacta y, en consecuencia, el espesor de la tela o de la prenda aumenta, con disminución del largo y del ancho. Existen una variedad de procedimientos patentados para eliminar o recubrir las escamas de la fibra de lana y evitar el afieltrado. Algunos de los procedimientos utilizan cloro o enzimas (*queratinasas*) para eliminar las escamas o resinas especiales para recubrirlas.

Por otra parte las telas de **lana**, por absorción de humedad ambiente, pueden sufrir un fenómeno contrario: la "**expansión higral**". Si esta expansión ocurre cuando la prenda ya está confeccionada generalmente resulta en un grave inconveniente pues aparecen "fruncidos" en las costuras que son difíciles o imposibles de corregir. Por esta razón, las telas de lana de lana (*y en general todas*)

deben extenderse sobre la mesa de corte del confeccionista y darles un tiempo de por lo menos 12 horas para que alcancen un equilibrio con la humedad ambiente y se estabilicen dimensionalmente.

Otro caso es el de las telas tejidas con mezclas de hilados de fibras **acrílicas** de alto encogimiento térmico (**HB** o "**high bulk yarns**") con otros hilados de bajo encogimiento térmico. Luego de vaporizar las telas, los hilados de acrílico **HB** encogen obteniéndose efectos especiales muy interesantes.

7.0.0- LA FORMACIÓN DE "PILLING" EN LAS TELAS

La aparición en la superficie de las telas de pequeñas bolitas de fibras enredadas entre sí, se conoce como "**pilling**". Las acciones mecánicas que sufren las prendas y otros artículos textiles durante su uso, como el doblado, el estirado y la frotación, favorecen la migración de las fibras desde el interior al exterior del hilado y, por tanto, a la superficie de la tela. Una vez en la superficie, esas fibras se van enredando entre sí formando esas pequeñas bolitas que quedan adheridas a la superficie de la tela, dándole a la prenda un aspecto desagradable de envejecimiento y desgaste. Las causas de la formación de "pilling" pueden atribuirse a las **fibras**, al **hilado** o a la **tela**.

Cuanto más *rugosas, largas y flexibles* las **fibras**, más fácilmente se producirá el enredamiento entre ellas y la formación de la "bolita". Las fibras de lana, que tienen justamente esas características, son muy proclive a la formación de "pilling" pero por ser una fibra débil, la "bolita" no es retenida fuertemente y se desprende con relativa facilidad de la superficie. En cambio, las fibras artificiales y sintéticas no favorecen tanto la formación de la bolita pero, debido a su mayor *resistencia y tenacidad*, mantienen unida la "bolita" de fibras por más tiempo a la superficie de la tela. Se han desarrollado, p.ej., fibras poliéster "anti pilling", con menor resistencia a la tracción para facilitar el desprendimiento de la bolita.

En cuanto al **hilado**, cuanto menor sea la cantidad de *torsiones* insertadas más fácil es la migración de las fibras hacia fuera y mayor es la probabilidad de que se forme "pilling". La alta pilosidad de un hilado también facilita la formación de "pilling".

Con respecto a las **telas**, se puede decir que aquellas de ligamento más abierto o de "cuenta" baja, serán más propensas a formar "pilling" que las de ligamento apretado y "cuenta" alta, pues las fibras migrarán con más facilidad en el primer caso. Algunos tratamientos que se hacen a las telas para bajar la pilosidad de su superficie, como el chamuscado, el calandrado, el tundido y el aprestado, etc., disminuyen la tendencia a formar "pilling".



Figura 6.77- EQUIPO MARTINDALE PARA ENSAYO DE "PILLING" EN TELAS

- a) se frota entre sí dos porciones de la tela, b) se registra la cantidad de ciclos de frotación, c) se comparan los resultados con standards fotográficos

8.0.0- PROPIEDADES QUE INFLUYEN EN EL “CONFORT” DE LAS PRENDAS

El “confort” de una **prenda**, es decir la sensación de comodidad y bienestar que produce en quien la usa, depende de un conjunto complejo de factores: **1)** los que están relacionadas con el diseño mismo de la prenda (forma, tamaño, peso y ajuste al cuerpo), **2)** los que dependen de las propiedades de la tela con que está confeccionada la prenda, **3)** los determinados por las condiciones ambientales (*temperatura, humedad relativa y velocidad del aire en ambientes interiores o exteriores*) y, **4)** la actividad física del usuario (*ejercicio, sueño o reposo*).

Algunas de las propiedades de las **telas** que influyen mas claramente en el confort de una prenda son: **a)** la elasticidad, **b)** la suavidad, **c)** la capacidad de absorción de agua líquida y de vapor de agua y la liberación exotérmica de calor (*ver Cap. 2, Secciones 4.2.0, 4.3.0, 4.4.0*), **d)** la permeabilidad para intercambiar aire y vapor de agua, **e)** la conductividad térmica, **f)** la capacidad de generar cargas estáticas, g) el peso, en g/m². Naturalmente, estas propiedades de las telas dependen a su vez de las propiedades de los hilados con las que fueron tejidas y de las fibras que se utilizaron para elaborar esos hilados. En la Tabla siguiente tratamos de resumir ese complejo sistema de interrelaciones.

TABLA 6.8 - PROPIEDADES DE LA TELA QUE INFLUYEN EN EL CONFORT DE LA PRENDA

PROPIEDAD	DEPENDE DE:
Elasticidad	-Tipo de ligamento, estructura, espesor, etc. de la tela (ver Sección 5.0.0)
Suavidad	- Cantidad e intensidad de torsiones insertadas en el hilado. - Naturaleza y finura de las fibras que componen el hilado.
Absorción de agua líquida	-Naturaleza de las fibras -Estructura de la tela (facilidad de retener agua por capilaridad) -Tipos de acabados o revestimientos sobre la tela
Absorción de vapor de agua	-Naturaleza de las fibras -Tipos de acabados o revestimientos sobre la tela
Intercambio de aire y vapor de agua	-Tipo de ligamento y estructura de la tela -Espesor de la tela
Conductividad térmica	-Naturaleza de las fibras -Aire retenido dentro de la tela (tipo de ligamento y estructura de la tela, voluminosidad de los hilados) -Voluminosidad de los hilados (dependerá de la cantidad e intensidad de la torsión aplicada, de si los hilados son rizados o texturizados, fibras con o sin rizo) -Movimiento del aire a través de la tela -Espesor y contenido de humedad de la tela
Generación de carga estática	-Naturaleza de las fibras -Contenido de humedad de la tela
Peso	- título de los hilados - “cuenta” o hilos por cm - tratamientos superficiales

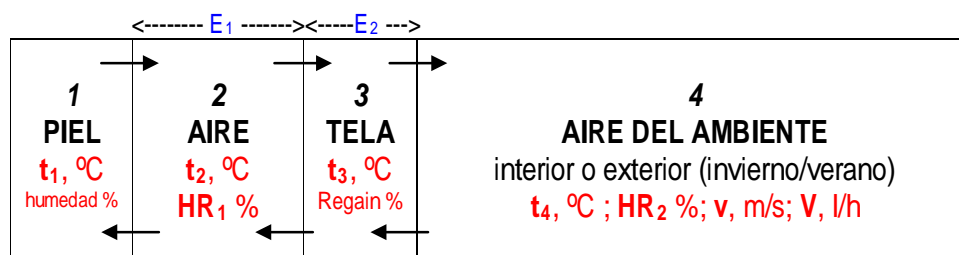


Figura 6.78 – Esquema del sistema “piel / prenda / ambiente” (ver Cap. 11, Secc.3.0.0)

No se debe olvidar que los posibles tratamientos químicos que se realicen sobre las telas para conferirles propiedades especiales, como impermeabilidad, resistencia a las arrugas, resistencia

al fuego, etc. modificarán también sus propiedades, sus “mano” y “caída”. Esos cambios se traducirán finalmente también en cambios en el “confort” de la prenda. El **microencapsulamiento** de productos químicos (*medicamentos, cosméticos, etc.*) dentro de los textiles, está abriendo una enorme gama de nuevas posibilidades para el “confort” de las prendas. El uso de **nanotecnologías** (p.ej. en la aplicación de recubrimientos) traerá también importantes e interesantes avances en el tema. La incorporación de microprocesadores dentro de las prendas, para crear **“textiles inteligentes”**, es otro de los importantes avances que se vislumbran (ver Ref. 1,2 y 3)

9.0.0- EL CUIDADO DE LAS PRENDAS TEXTILES

En 1956, en la conferencia internacional “*Fabric Quality and Informative Labelling*” celebrada en Göteborg, Suecia, se reconoció la necesidad de crear una simbología de fácil interpretación para el cuidado de los artículos y las prendas textiles. Estos símbolos son cuatro, uno para cada uno de los siguientes tratamientos: **lavado, tratamientos con hipoclorito, planchado y limpieza en seco**. Estos símbolos deben colocarse, uno a continuación de otro, en una etiqueta cosida al artículo textil. En la tabla siguiente se indica la manera de utilizar estos símbolos.

PRECAUCIONES **NINGUNA** **ALGUNAS** **ESPECIAL** **PROHIBIDO**

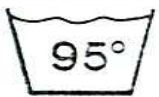
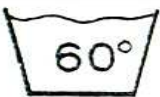


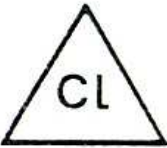
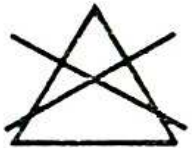
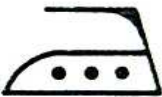

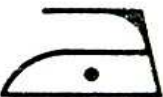
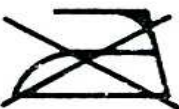



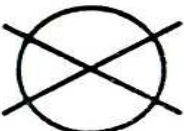
LAVADO	 TEMP. MÁXIMA DE LAVADO 95° C	 TEMP. MÁXIMA DE LAVADO 60° C	 TEMP. MÁXIMA DE LAVADO 30° C ó 40° C (según el artículo)	 NO LAVAR
TRATAMIENTOS CON HIPOCLORITO	 PUEDE USARSE HIPOCLORITO			 NO PUEDE USARSE HIPOCLORITO
PLANCHADO	 TEMP. MÁXIMA DE PLANCHADO 200 ° C □ 10 ° C	 TEMP. MÁXIMA DE PLANCHADO 150 ° C □ 2 ° C	 TEMP. MÁXIMA DE PLANCHADO 115 ° C □ 2 ° C	 NO USAR PLANCHA
LAVADO EN SECO	 TODO TIPO DE SOLVENTES (incl. tricloroetileno)	 TODO TIPO DE SOLVENTES (incl. el Percloroetileno)	 SOLO SOLVENTES MINERALES (p.ej Aguarras, Hexano, etc.)	 NO LAVAR EN SECO

TABLA 6.9
INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES DE LOS HILADOS Y DE LA ESTRUCTURA DE
LOS TEJIDOS EN ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FINALES DE LAS TELAS

VARIABLES: HILADOS E HILOS ESTRUCTURA DEL TEJIDO	ASPECTO VISUAL	“MANO” (suavidad, volumen, etc)	“CAIDA” (flexibilidad, elasticidad, etc.)	FORMACION DE “PILLING”	RESISTENCIA MECANICA (a la tracción, al desgarre, etc.)	PESO (en g/m2)
Naturaleza de las fibras	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Hilado con fibras cont. o descont.	+++	+++	+++	+++	+++	-
Título del hilado	++	+	++	+	-	+++
Cantidad de fibras por sección	-	+	+	+	++	+
Cantidad de cabos	++	+++	+++	+	++	+++
Torsiones por metro (S/Z) de c/cabo	++	+++	+++	++	+++	-
Retorsiones por metro (S ò Z)	++	+++	+++	++	+++	-
Regularidad de masa (CV%)	+++	+	++	-	++	-
Pilosidad	++	++	-	+++	-	-
Resistencia a la tracción	-	-	+	-	+++	-
Voluminosidad y compresibilidad	++	+++	++	+	+	-
Sistema de hilatura (R/S ò O/E)	++	++	++	+	+++	-
Cantidad de hilos por cm2	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Tipo de ligamento	+++	+++	+++	+	+++	-
Recubrimientos superficiales	+++	+++	+++	++	+++	+++



Figuras 6.79 y 6.80 - Equipo para medición de “Índice de Caída” en telas

BIBLIOGRAFIA

- 1- **“Extreme Textiles”** Matilda McQuaid, Princeton Architectural Press, New York
- 2- **“Techno Textiles”**, Revolutionary Fabrics for Fashion and Design, Sarah E. Braddock Clarke and Marie O Mahony, Ed. Thames & Hudson, USA.
- 3- **“Eco- Chic, The Fashion Paradox”**, Sandy Black, Black Dog Publishing, London, UK

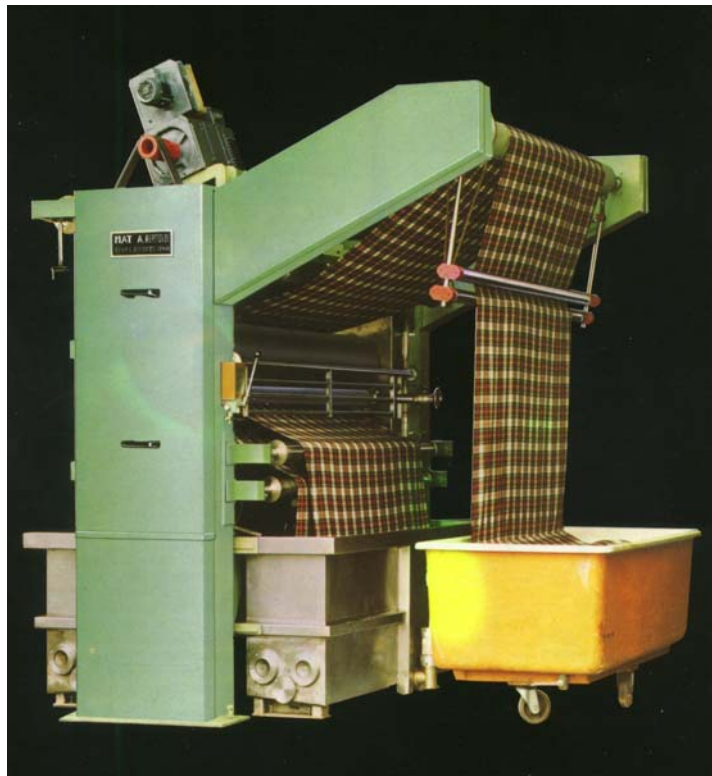
EJEMPLO DE PLANILLA CON DATOS A SOLICITAR A UN OFERENTE O PROVEEDOR DE TELAS					
OFERENTE:	1	2	3	4	5
ARTÍCULO (identificación según el oferente)					
LABORATORIO TEXTIL:					
ANÁLISIS N°:					
FECHA DEL ANÁLISIS:					
COMPOSICIÓN (Algodón, lana, poliéster, etc.)					
TIPO DE MEZCLA (si la hay : U/T, íntima, etc.)					
TIPO DE LIGAMENTO					
COLOR					
ANCHO, cm					
PESO, g/m ²					
HILOS/cm (U,T)					
ENCOGIMIENTO % (U, T)					
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, N/cm (U,T)					
ELONGACIÓN A LA ROTURA, % (U,T)					
RESISTENCIA AL DESGARRO, kg (U;T)					
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN, ciclos (*)					
RESISTENCIA AL "PILLING", ciclos (*)					
HIGROSCOPICIDAD, absorción de Iodofón, min. (*)					
INDICE DE CAIDA (*)					
SUAVIDAD (*)					
RESISTENCIA AL FROTE SECO, ciclos (**) (*)					
RESISTENCIA AL FROTE HÚMEDO, ciclos (**)					
SOLIDEZ AL LAVADO (**)					
SOLIDEZ AL HIPOCLORITO DE SODIO (**)					
PRECIO sin IVA, \$					
DISPONIBILIDAD					

(*) Luego del primer lavado

(**) Solo para telas de color

CAPITULO VII

PROCESOS HUMEDOS



CONTENIDO	PÁGINA
1.0.0- <i>Introducción</i>	9
2.0.0- <i>Procesos húmedos de preparación</i>	13
3.0.0- <i>Procesos húmedos de coloración</i>	21
4.0.0- <i>Procesos húmedos de terminación</i>	23

1.0.0- INTRODUCCIÓN

Los procesos de la industria textil llamados "**húmedos**" son procesos de transferencia de masa y energía en los que el principal medio de transporte es el **agua**, que en la mayor parte de los casos está en *estado líquido* pero también puede estar en *estado vapor*. Todo proceso húmedo es seguido de una operación de **secado**, es decir, de otra transferencia de masa y energía en la que el principal medio de transporte es el **aire**. Los flujos de energía están determinados por el flujo del medio de transporte y por el movimiento del textil.

TABLA 7.1 - PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE MASA			
OPERACIÓN	MEDIO DE TRANSPORTE	MATERIA TRANSPORTADA	ENERGIA TRANSPORTADA
Lavado	AGUA LIQUIDA	Suciedad: del textil al agua	Térmica, cinética, etc.
Teñido	AGUA LIQUIDA	Colorante: del agua al textil	
Secado	AIRE	Agua: del textil al aire	

Los procesos húmedos se pueden dividir en tres grupos: 1) de preparación, 2) de coloración y, 3) de terminación. En las tablas siguientes se indican algunos de estos procesos. A los efectos de dar una visión amplia del tema se incluyen también algunos procesos de terminación no húmedos.

TABLA 7.2 - PROCESOS HÚMEDOS DE PREPARACIÓN					
TIPO DE FIBRA	OPERACIÓN	ACCIÓN MAS IMPORTANTE			
		RETIRA MATERIA(*)	AGREGA MATERIA(*)	MODIFICA MATERIA(*)	MODIFICA EL TEXTIL(**)
ALGODÓN	Encolado	-	+	-	-
	Descrude	+	-	-	-
	Desencolado	+	-	-	-
	Blanqueo Químico	-	-	+	-
	Mercerizado	-	+	-	+
	Ensimado	-	+	-	-
LANA	Lavado	+	-	-	-
	Secado	+	-	-	-
	Carbonizado	-	-	+	-
	Blanqueo Químico	-	-	+	-
	Ensimado	-	+	-	-
QUÍMICAS	Encolado	-	+	-	-
	Desencolado	+	-	-	-
	Lavado	+	-	-	-

(*) Se refiere a materia diferente al textil.
 (**) Se consideran operaciones normales que no agreden excesivamente al textil.

TABLA 7.3- PROCESOS HÚMEDOS DE COLORACIÓN					
TIPO DE FIBRA	OPERACIÓN	ACCIÓN MAS IMPORTANTE			
		RETIRA MATERIA(*)	AGREGA MATERIA(*)	MODIFICA MATERIA(*)	MODIFICA EL TEXTIL(**)
TODAS	Tintura	-	+	-	-
	Blanqueo Optico	-	+	-	-
	Estampación	-	+	-	-
(*) Se refiere a materia diferente al textil.					
(**) Se consideran operaciones normales que no agreden excesivamente al textil.					

TABLA 7.4- PROCESOS HÚMEDOS DE TERMINACIÓN					
TIPO DE FIBRA	OPERACIÓN	ACCIÓN MAS IMPORTANTE			
		RETIRA MATERIA(*)	AGREGA MATERIA(*)	MODIFICA MATERIA(*)	MODIFICA EL TEXTIL(**)
ALGODÓN	Vaporizado	-	-	-	+
	Suavizado	-	+	-	-
	Sanitizado	-	+	-	-
	Antiarruga	-	+	-	-
	Antimancha	-	+	-	-
	Hidrófugo	-	+	-	-
	Ignífugo	-	-	-	-
	Prencogido	-	-	-	+
	Apresto	-	+	-	-
LANA	Decatizado	-	-	-	+
	"Potting"	-	-	-	+
	"Crabbing"	-	-	-	+
	Batanado	-	-	-	+
	Vaporizado	-	-	-	+
	Afieltrado	-	-	-	+
	Antiafieltrado	-	+	-	-
QUÍMICAS	Apresto	-	+	-	-
(*) Se refiere a materia diferente al textil.					
(**) Se consideran operaciones normales que no agreden excesivamente al textil.					

TABLA 7.5 - PROCESOS DE TERMINACIÓN NO-HÚMEDOS

TIPO DE FIBRA	OPERACIÓN	ACCIÓN MAS IMPORTANTE			
		RETIRA MATERIA(*)	AGREGA MATERIA(*)	MODIFICA MATERIA(*)	MODIFICA EL TEXTIL(**)
ALGODÓN Y LANA	Tondosado	-	-	-	+
	Frisado	-	-	-	+
	Chamuscado	-	-	-	+
	Calandrado	-	-	-	+
QUÍMICAS	Termofijado	-	-	-	+

(*) Se refiere a materia diferente al textil.
(**) Se consideran operaciones normales que no agreden excesivamente al textil.

TABLA 7.6 - PRODUCTOS AUXILIARES QUE NO SE INCORPORAN AL TEXTIL

- * Sales.
- * Agentes de oxidación y reducción.
- * Tensioactivos: detergentes, humectantes, dispersantes, emulsionantes, etc.
- * Igualizantes de tintura.
- * Retardantes de tintura (*salvo los que tengan afinidad por la fibra*)
- * Modificadores de viscosidad (*espesantes, etc.*)
- * Antiespumantes.
- * etc.

1.1.0- EL AGUA Y LA ENERGÍA EN LOS PROCESOS HÚMEDOS TEXTILES

1.1.1- Agua de proceso

La calidad del agua usada en los procesos textiles es el primer aspecto a tener en cuenta. En cada caso se debe estudiar el pretratamiento necesario para el agua de proceso. Las exigencias van de un máximo para agua de tintorería hasta un mínimo, p.ej. para agua de lavadero de lana. Las cantidades de agua necesarias para los procesos húmedos textiles son muy altas. En general el consumo va de **10 a 50 l por kg de material textil**. Se deben utilizar siempre procesos con bajo consumo de agua pues este es un recurso natural cada vez más escaso. Como por otra parte el agua, la mayoría de las veces, se debe ablandar y calentar, se obtiene un gran ahorro disminuyendo el volumen a utilizar.

TABLA 7.7 - CONCENTRACIONES LÍMITE PARA AGUA DE PROCESO TEXTIL	
Turbiedad (ppm como sílice)	0.50 - 3.0
Color (ppm escala de platino)	2.00 - 5.0
Dureza Total (ppm como CaCO ₃)	0.00 - 25.0
Hierro (ppm como Fe)	0.02 - 0.1
Manganeso (ppn como Mn)	0.02
Alcalinidad al naranja de metilo (ppm como CaCO ₃)	35.00 - 64.0
Sólidos totales disueltos (ppm)	65.00 - 150.0

1.1.2- Agua de caldera

Se debe hacer tratamiento externo e interno y purgas periódicas para prevenir incrustaciones, corrosión, espuma y arrastres.

1.1.3- Efluentes

Los efluentes deben ser tratados para minimizar su volumen total, enfriarlos a temperatura ambiente, eliminar sustancias disueltas o suspendidas, etc.

1.1.4- Uso del vapor

Cuando se usa vapor vivo se tienen las siguientes ventajas: intercambio térmico económico y mezcla enérgica del baño. Cuando se utiliza calefacción indirecta, las ventajas son: no se producen diluciones innecesarias y no hay recalentamientos locales. Se deben mantener bajas relaciones de baño, disminuir los tiempos de procesos, recuperar condensado y vigilar y mantener correctamente las trampas y la aislación de las tuberías de vapor.

1.1.5 - Secado

El secado consume aproximadamente el 50% de toda la energía utilizada en los proceso húmedos. Antes de utilizar **secadores térmicos** se debe tratar de extraer el máximo de agua posible **por medios mecánicos**, como el exprimido entre rodillos o el centrifugado.

1.1.6 - Tensoactivos

Luego del agua, se podría decir que los tensoactivos (*detergentes, humectantes, dispersantes, emulsionantes, igualizantes, retardantes, etc.*) son los productos químicos de mayor importancia en casi todos los tratamientos húmedos textiles. En la Bibliografía se citan algunas obras en las que se puede ver temas relativos a la teoría de la detergencia y a los tensoactivos.

BIBLIOGRAFIA

- 1- "Textile Wet Processes", Edward S. Olson, Noyes publishers, 1983.
- 2- "Textile Chemistry", R.H. Peters, Elsevier 1967.
- 3- "Textile Chemicals and Auxiliaries", H.C. Speel, E.W.K. Schwaetz, Reinhold 1957
- 4- "The NALCO Water Handbook", NALCO Chemical Co., F. N. Kemmer, J. McCallion, McGraw-Hill Book Co., 1979
- 5- "That Business about Steam Ager", MS Machinery and Systems S.R.L., Italy
- 6- "Detergents and Textile Washing", Günter Jakobi and Albrecht Löh, VHC Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim, Alemania, 1987 (Biblioteca del LATU)"
- 7- "Surfactans", Th.F. Tadros (editor) Academic Press, 1983
- 8- "Theory of Detergency", Uniliver Educational Publications, 1983

2.0.0- PROCESOS HÚMEDOS DE PREPARACIÓN

2.1.0- Encolado y Desencolado

Antes del tisaje, los hilos de urdimbre (o “cadena”) deben ser **encolados** para que resistan el esfuerzo a que son sometidos durante la apertura de la calada. Generalmente, las urdimbres hechas con hilados de **fibras artificiales y sintéticas** se encolan con productos sintéticos solubles en agua caliente. Las urdimbres de **algodón** se tratan en general con colas más económicas preparadas con almidón. Las urdimbres de **lana** rara vez se encolan.

La operación de **encolado** es muy importante para la tejeduría. Para que se alcancen altas productividades el encolante debe tener una serie de propiedades, a veces un tanto contradictorias. Debe ser suficientemente elástico y flexible como para acompañar las elongaciones que sufre el hilado de urdimbre durante la apertura de la calada, pero debe también tener buena resistencia a la tracción y a la abrasión. Debe tener buena adhesión al hilado pero debe ser fácil de retirar durante el **desencolado**, no debe pegarse a los cilindros de secado de la encoladora ni pegar los hilos entre sí. No debe formar espuma ni ser corrosivo y preferentemente no debe tener olor. La regulación de la tensión, la velocidad de avance y la temperatura de secado de los hilos debe ser cuidadosamente controlada.

Los métodos más utilizados para **desencolar** telas de algodón encoladas con almidón son: **1)** el **enzimático** en el que el almidón se desdobra en dextrinas y maltosa solubles y, **2)** el **oxidante** que utiliza productos como persulfato de amonio, peróxido de hidrógeno o bromito de sodio para degradar el almidón en sustancias solubles. En general el método enzimático da mejor resultado que el oxidante. Este último, sin embargo, es más adecuado cuando a continuación se realiza un blanqueo químico con peróxido de hidrógeno. El procedimiento más utilizado en ambos casos es el de impregnación y reposo. Los encolantes artificiales y sintéticos deben poder eliminarse con agua caliente.

BIBLIOGRAFIA

1-"Textile Chemistry", R.h.Peters, Elsevier, 1967.

2.2.0- Descrude

Al algodón en rama, generalmente, no se le somete a ningún tratamiento húmedo - salvo que sea destinado a producir algodón hidrófilo - pues no conviene retirar las ceras y pectinas naturalmente presentes ya que actúan como lubricantes en las operaciones de hilatura. Por tanto, luego de producido el hilado y tejida la tela, ésta última conservará restos de impurezas vegetales así como las pectinas y las ceras. La tela deberá entonces lavarse, en caliente y con álcali, usando detergentes no iónicos y biodegradables que resistan pH elevados. Este tratamiento es conocido como “**descrude**” (ingl. “*scouring*”) y es necesario realizarlo antes del **blanqueo químico** o de la **tintura**. Actualmente se están empleando pectinasas, proteasas y lipasas en algunos tratamientos de descrude

Generalmente el descrude de las telas de algodón se realiza luego del desencolado, para evitar reacciones indeseadas entre el álcali y las sustancias usadas como encolantes. Entre el desencolado y el descrude es conveniente un buen enjuague. En el descrude, la mayoría de las sustancias colorantes naturales no son atacadas, de ahí la necesidad de un blanqueo químico posterior. La intensidad del descrude y del blanqueo químico dependerá del grado de blanco deseado, del título y la cantidad de torsión del hilado, del tipo de ligamento y la “cuenta” de la tela, así como de los procesos a los que va a ser sometida a continuación.

Durante el descruce alcalino: **1)** las grasas y aceites se saponifican y los jabones formados emulsionan a las ceras, **2)** las proteínas se desdoblán en aminoácidos solubles, **3)** la suciedad se desprende y es mantenida en suspensión por los jabones formados o por la adición de tensoactivos y/o metasilicato de sodio. En general, con el descruce el material sufre una pérdida de peso del 5 al 7%. Para el caso de telas hechas con fibras artificiales y sintéticas o sus mezclas, se realizan descruces menos severos y la mayor parte de las veces es suficiente un simple lavado, en general ligeramente alcalino, en frío.

2.2.1- Descruce discontinuo ("*kier boiling*")

Se cargan generalmente de 1 a 5 tons. de tela, "en cuerda" o plegada. Esta operación de carga conviene hacerla con cuidado para evitar la formación de "falsas vías" que resultaría en un descruce desigual. Se utilizan soluciones de 20 g/l de NaOH en agua blanda. Debe cargarse la solución de álcali antes que la tela para evitar que quede aire atrapado, lo que provoca inconvenientes (*ver más abajo*). El control de la concentración del álcali es importante, pues concentraciones altas pueden producir "mercerizados" parciales, con encogimientos de la tela, y concentraciones más bajas un descruce insuficiente. Conviene agregar también un agente auxiliar humectante y dispersante, resistente a las condiciones del descruce. Se puede trabajar a presión atmosférica (100°C), o a alta presión (130°C), en las siguientes condiciones: **relación de baño 3/1, solución de NaOH 10-20 g/l (3-6% sobre peso del material), tiempos 8-12 hrs. a 100°C ò 6 hrs. a 125-130°C, según el tipo de tela.** Si se trabaja a presión, se debe purgar el aire completamente con vapor. Es muy importante eliminar todo el aire presente, pues a alta temperatura, en presencia de oxígeno y álcali, se degrada la celulosa con formación de **oxicelulosa**. Conviene, en general, agregar algo de *bisulfito o hidrosulfito de sodio* para remover trazas de oxígeno. La presencia de aire dentro del equipo tiene otro inconveniente: la temperatura de la solución no se correlaciona con la presión que indican los manómetros. Es, por tanto, siempre conveniente colocar un termómetro. La descarga debe también hacerse cuidadosamente: a medida que vaciamos la solución debemos permitir el ingreso de agua fría. La tela de algodón, alcalina y caliente, no debe nunca tomar contacto con el aire. Finalmente se debe enjuagar hasta obtener pH 7.

2.2.1- Descruce continuo

La necesidad de descruce y blanquear grandes cantidades de tela llevó al desarrollo de los métodos continuos. En estos se impregna la tela en un "*foulard*" con solución de soda a 3-4%, se exprime bien entre rodillos y se vaporiza durante 60-90 minutos. La concentración de soda se debe vigilar para que no caiga por debajo de 0.4%. La soda es consumida en la hidrólisis de proteínas, pectinas, etc. Los grupos oxihidrilos de la celulosa son ligeramente ácidos y consumen también algo de soda. Los "**J-Box**" (*Figura 7.2*) son equipos muy utilizados para el descruce y el blanqueo a la continua pues, permiten procesar grandes cantidades de tela sin ocupar grandes espacios.

BIBLIOGRAFIA

1-"Textile Chemistry", R.H.Peters, Elsevier, 1967.

2-"Chemistry and Chemical Technology of Cotton" edited by Kyle Ward, Interscience, 1955.

2.3.0- Blanqueo químico

El blanqueo químico se puede hacer de dos formas: **1) Blanqueo Químico Oxidante** en el que los agentes oxidantes más comunes son el hipoclorito de sodio, el clorito de calcio, el peróxido de sodio, el peróxido de hidrógeno, el permanganato de potasio y el dióxido de azufre. **2) Blanqueo Químico Reductor** en el que los agentes reductores más comunes son el hidrosulfito de sodio (ditionito de sodio) y el formaldehilsulfoxilato de sodio.

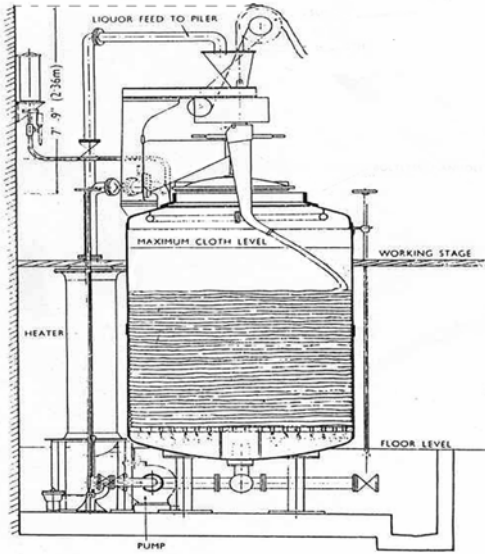


Figura 7.1 – AUTOCLAVE

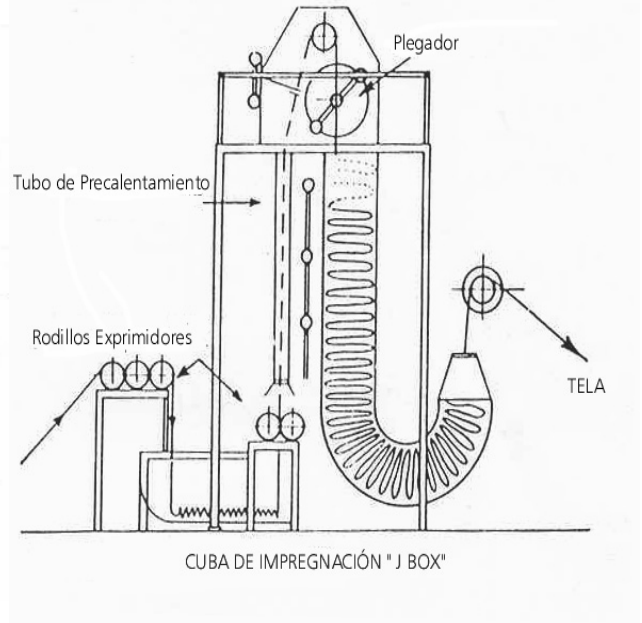


Figura 7.2 – "J" Box

2.3.1- Blanqueo con Hipoclorito de Sodio.

Es el agente de **blanqueo químico** más económico para una lavandería que procesa principalmente artículos de algodón. Por ser un poderoso oxidante es, además de un **blanqueante**, un eficaz **germicida**. Si disolvemos en agua, cloro gas o hipoclorito de sodio, se llega a un equilibrio entre cloro, ácido hipocloroso y anión hipoclorito. **Este equilibrio dependerá de la concentración, de la temperatura y especialmente del pH de la solución.**

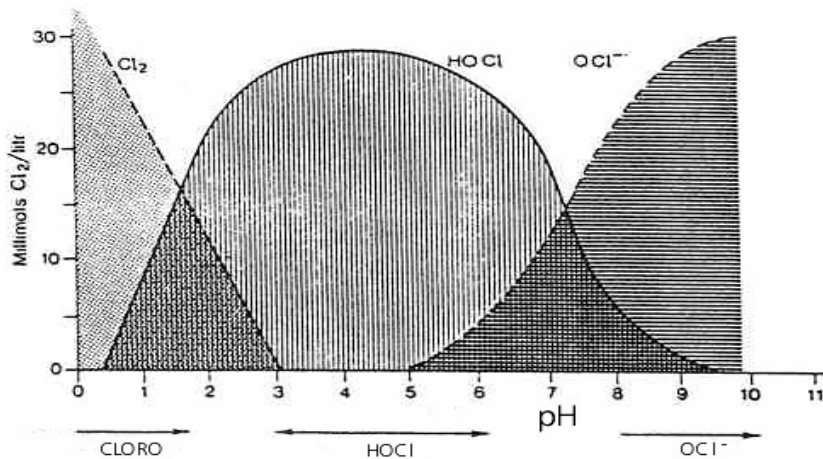
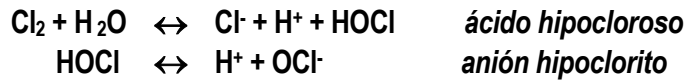


Figura 7.3

Si hay álcali presente, p.ej. **NaOH**, el exceso de **OH⁻** al sustraer **H⁺**, desplaza los equilibrios hacia la derecha con formación de **hipoclorito de sodio**. Se considera que el **ácido hipocloroso (HOCl)** es el que ejerce la acción oxidante mas enérgica y por tanto, la mayor acción blanqueante y germicida. Por encima de **pH 4** están en equilibrio sólo el **ácido hipocloroso (HOCl)** y el **anión hipoclorito (OCl⁻)** (Figura 7.3). La suma de ambos nos da el **"cloro libre disponible"** de la solución. El cloro disponible reacciona con una gran cantidad de sustancias y especialmente con la sustancia orgánica. A la cantidad de cloro necesaria para reaccionar con esa sustancia orgánica presente se

le llama "**demanda de cloro**". La aplicación de las soluciones de *hipoclorito* para el **blanqueo textil** es uno de sus usos importantes.

El lavado y el descrude solamente retira impurezas y partículas de suciedad. Las sustancias colorantes naturales deben ser destruidas por **oxidación** o por **reducción**. Por **oxidación**, con hipoclorito de sodio o peróxido de hidrógeno, se obtienen en general blancos estables. Una tela blanqueada por **reducción** (p.ej. con *bisulfito de sodio*), en cambio, puede volver a tomar su color original por reoxidación con el oxígeno del aire. En general, si el artículo textil no es previamente lavado o descrudado, con solo blanqueo químico no se obtiene un buen grado de blanco. Es aconsejable, entonces, lavar y/o descrudar siempre antes del blanqueo químico. De esa manera se disminuye también, la inevitable agresión que especialmente los agentes oxidantes producen sobre el textil.

En el blanqueo del **algodón** con agentes oxidantes los grupos hidroxilos de la celulosa pueden ser oxidados primero a aldehído y luego a carboxilo, cortándose la cadena polimérica entre grupos glucósidos. En el blanqueo del **algodón** con soluciones de hipoclorito, el control de **concentración, temperatura, tiempo y pH** es fundamental, ya que el **ácido hipocloroso (HOCl)** ataca a la fibra degradándola y debilitándola. Como se puede ver en la figura, en la zona **entre pH 9 y 10**, el equilibrio está desplazado hacia el **anión hipoclorito (OCl⁻)** y, la concentración del **ácido hipocloroso**, que es la molécula más activa, es mínima. Para evitar daños al textil, entonces, el blanqueo de algodón con hipoclorito de sodio debe hacerse alrededor de **pH 10** y nunca por debajo de **pH 9**. Entre **pH 5 y pH 9** se produce la mayor **degradación de la celulosa**:



Figura 7.4

Para la construcción de la curva de la *Figura 7.4* se mantuvieron muestras de **algodón** durante 5 hs. en una solución de **hipoclorito de sodio** de 3 g/l a distinto pH. Luego, con estas muestras de algodón se prepararon soluciones al 5% en **licor de Schweitzer** y se determinaron las viscosidades resultantes. Las soluciones de hipoclorito de sodio comerciales poseen un pH cercano a 10 y en general, en procesos sencillos y de corta duración, no es necesario ajustar el pH de sus soluciones. En otros casos conviene mantener el pH de éstas entre 10 y 11 por medio del agregado de 5 g/l de ceniza de soda. Un pH alrededor de 10 es el más adecuado para el blanqueo de fibras celulósicas pero no es el óptimo para la acción germicida. De todas formas a ese pH de blanqueo, en muchos casos, se logra también una buena desinfección. **La lana jamás debe ser blanqueada con hipoclorito ya que es atacada por éste a cualquier pH.**

El control de la temperatura y el tiempo de blanqueo es también muy importante. **Las soluciones de hipoclorito para blanqueo del algodón y otras fibras vegetales deben utilizarse a temperaturas menores a 40°C y con tiempos no mayores de 50 minutos.** Temperaturas

cercanas a 40°C se pueden utilizar solo en procesos industriales **a la continua**, en los que el textil está menos tiempo en contacto con la solución de blanqueo.

En cuanto a la **concentración de hipoclorito**, es en general suficiente *0.07g/l de baño (70 ppm)* o mejor, **0.1 g por kg de material** a blanquear. Con estas cantidades en general se obtiene un buen blanqueo del algodón, trabajando durante tiempos relativamente cortos. Existen algunas sustancias que actúan como **catalizadores** de la acción del ácido hipocloroso (*HOCl*), como p.ej **trazas de hierro o cobre**, por lo que conviene detectar la presencia de estos metales y eliminarlos antes del blanqueo. De lo contrario, el ataque puede ser tan intenso que se produzca la destrucción localizada de la tela o perforaciones en los lugares en que estén presentes estos metales. Es necesario tener también en cuenta que las soluciones de hipoclorito de sodio son **corrosivas** para el hierro y otros metales y se deben proteger los equipos del contacto excesivo con este producto. Los operarios que manipulen soluciones de hipocloritos deben estar adecuadamente protegidos con guantes, botas, delantal y antiparras.

En general a continuación de un blanqueo químico con hipoclorito conviene hacer un **tratamiento anticloro** con agua oxigenada o con bisulfito de sodio en medio ácido. Este tratamiento anticloro disminuye el número de los abundantes enjuagues que de otra forma serían necesarios para eliminar los restos de hipoclorito. **Si luego del blanqueo químico se quisiera hacer un blanqueo óptico, el tratamiento anticloro es imprescindible**, ya que la mayor parte de los blanqueantes ópticos son atacados por el hipoclorito.

Los controles recomendables para el blanqueo con soluciones de hipoclorito de sodio son: **1)** cloro libre disponible en el producto comercial utilizado, **2)** pH del baño de blanqueo, **3)** resistencia a la tracción, antes y después del blanqueo del artículo tratado. Este último ensayo se realizará de acuerdo a un plan de muestreo.

TABLA 7.8	
CONCENTRACIONES DE SOLUCIONES DE HIPOCLORITO DE SODIO COMERCIAL	
Gramos/litro	Grados clorométricos
100	32
50	16
40	12

Un grado clorométrico se puede definir como el volumen de Cloro medido a PTN, que es capaz de desprenderse de un volumen unidad de una solución de hipoclorito de sodio, P.ej. para 100 g/l de Cloro:

$$100 \times 22412 / (35.42 \times 2) = 32 \text{ grados clorométricos}$$

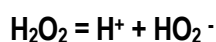
2.3.2- Acción Germicida del Hipoclorito de Sodio.

Como ya se dijo, se estima que la acción bactericida es debida al **ácido hipocloroso** que es capaz de atravesar sin impedimentos la membrana celular de la bacteria y destruir sus sistemas enzimáticos. Actúa también sobre el sistema enzimático de los virus. La acción germicida aumenta con la concentración y la temperatura y es máxima a pH 4-5 (*máxima concentración de HOCl*). **Cantidades de cloro libre de 0.25 a 0.5 g/l (250-500 ppm) son suficientes para una desinfección de ropa lavada, manteniéndola con poca agitación a temperatura ambiente y con un tiempo de retención de 15 minutos.** Cuando hay presente mucha suciedad orgánica y en especial proteínas, es necesario agregar un exceso de cloro ya que, la "demanda" de cloro puede

ser muy grande y el tenor de éste en el baño baja rápidamente. Para la limpieza de equipos, pisos, etc. se puede llegar a los 5.0 g/l (5000 ppm). El efecto del cambio de concentración de un germicida sobre la velocidad de eliminación de gérmenes viene dado por la expresión: $C^n \cdot t = k$ donde, C = concentración de gérmenes, t = tiempo para eliminar un dado % de gérmenes, n = coeficiente de concentración, k = constante. Para el **cloro**, $n = 1$, aproximadamente. Es decir que, si reducimos la concentración a la mitad se debe aumentar el tiempo de acción al doble. (Como hay una dependencia de la concentración inicial, podemos asimilar este mecanismo a una reacción de 2do. orden). Para el **fenol** en cambio, $n = 6$ aprox. Es decir que, si disminuyo su concentración a la mitad, debo aumentar el tiempo de su acción 64 veces.

2.3.3 -Blanqueo con Peróxido de Hidrógeno.

Es el método más adecuado para blanquear **lana**. Se utiliza mucho también para el blanqueo de algodón especialmente cuando no es posible hacer un prolongado descruce alcalino previo, como es el caso de los procesos continuos. Se supone que el responsable de la acción blanqueante es el ion perhidroxilo:



El blanqueo procede más rápido a pH alcalino que a pH ácido: los OH^- neutralizan los H^+ y facilitan la liberación de HO_2^- . En el blanqueo de algodón, es muy importante **estabilizar** la solución de peróxido a un **pH 10.8-10.9**. Por debajo de estos valores la solución es muy estable y el blanqueo progresa lentamente; por encima es muy rápido y el peróxido se descompone sin tiempo para actuar. Es imposible ajustar el pH a estos valores sólo con álcali y es necesario agregar un **estabilizante**. El más usado es el **silicato de sodio** pero existen otros productos patentados que lo sustituyen con ventaja. Cuando se usa silicato de sodio se debe evitar que precipite sílice coloidal que le confiere una mano áspera al textil. Es necesario evitar también la presencia de Fe^{++} y Cu^{++} a toda costa pues alcanzan trazas de ellos para catalizar la descomposición del peróxido de hidrógeno y producir un ataque a la fibra de algodón. El blanqueo de lana con peróxido de hidrógeno debe hacerse a pH más bajos que para el algodón.

2.3.4- Otros Blanqueantes Oxidantes.

El **permanganato de potasio** se utiliza muy poco. Se le utiliza algo en el blanqueo de "jeans" lavados "a la piedra". El **dióxido de azufre** se utiliza para el blanqueo de artículos baratos confeccionados con diversas fibras vegetales, plumas, etc.

2.3.5-Blanqueantes Reductores.

El **hidrosulfito de sodio (ditionito de sodio)** se utiliza mucho en el blanqueo de la lana ya que esta no resiste el blanqueo oxidante. Se utiliza también para "desmontar" colorantes pero deja una "mano" dura en el textil. Otro blanqueante reductor, el **formaldehí sulfoxilato**, se usa en estampación por "corrosión" (ver también "Blanqueantes Ópticos" en la sección "Procesos Húmedos de Coloración")

BIBLIOGRAFIA

- 1-"An Introduction to Textile Bleaching", J.T.Marsh, Chapman & Hall, 1956.
- 2-"Textile Bleaching in the United States". CIBA REVIEW,1971/3.
- 3-"Wool Bleaching", Raphael Levene.
- 4-"Blanqueo de la Lana con Peróxido de Hidrógeno", J.Cegarra, J..Gacén, Univ. Politécnica de Barcelona, España.
- 5-"Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres", E.R.Trotman, Ch.Griffin & Co.Ltd.London
- 6-"Textile Scouring and Bleaching" E.R.Trotman, Charles Griffin & Co.Ltd.
- 7-"Bacteriological Aspects of Chlorination", J.Inst.Water Eng., 1950,4,502

2.4.0- Mercerizado de hilado y tela de algodón.

2.4.1- Mercerizado con soda cáustica

Jean Mercer en 1844 trató el algodón con una solución de hidróxido de sodio al 20 - 27%, densidad 1,3 (33 °Bé) a 20-40°C durante 1-2 minutos. En estas condiciones se forma **alcali celulosa**. Si se neutraliza con ácido acético al 1-3% y se lava se forma un hidrato de celulosa que luego, por pérdida de agua, pasa a **celulosa II**. La celulosa puede cristalizar en varias formas. Las conocidas en la naturaleza son la **celulosa I** y **II**. Esta última, que es la que se forma durante el proceso de mercerizado, tiene una estructura menos compacta, absorbe más agua y por tanto más colorantes. Se disuelve más rápidamente en el licor de Schweitzer por lo que se supone que la cutícula de la fibra es atacada o alterada en alguna medida por el mercerizado. El aspecto microscópico de la fibra de algodón mercerizado cambia: la cinta helicoidal se hincha y se transforma en un cilindro en el que se nota claramente el canal central. Un test para evaluar si hubo o no mercerizado es observando la afinidad diferencial al tñido con **benzopurpurina**.

El algodón mercerizado, ya sea como hilado o como tejido, tiene una mayor resistencia a la tracción y mayor afinidad por los colorantes. Sin embargo estas propiedades no serían suficientemente atractivas como para compensar la contracción o disminución de dimensiones que sufren los artículos. **Horace Lowe** en 1889 descubrió que el encogimiento podía evitarse si el algodón se mantenía bajo tensión mientras estaba inmerso en la solución de soda. Con éste procedimiento, además de aumentar la *resistencia a la tracción* y la *afinidad por los colorantes*, se lograba también *más lustre o brillo*, *mano más suave* y mejor respuesta a los procesos mecánicos de acabado. A partir de 1895 el proceso de mercerizado comenzó a usarse en forma generalizada para hilado en madeja y para tela a lo ancho. El material debe impregnarse bien con el álcali antes de aplicar tensión. Actualmente se utilizan humectantes especiales para tal fin.

2.4.2- Mercerizado con amoniaco.

Se forma menos **celulosa II** y por tanto los efectos resultantes son de menor intensidad que con el tratamiento con soda. Las ventajas son: **1)** mejor resistencia a la degradación térmica, **2)** reacción más rápida. Esto permite, p.ej., mercerizar hilado directamente sin necesidad de formar previamente madejas, como cuando se utiliza soda.

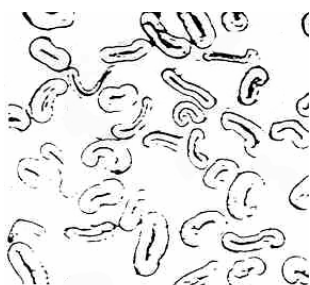


Figura 7.5

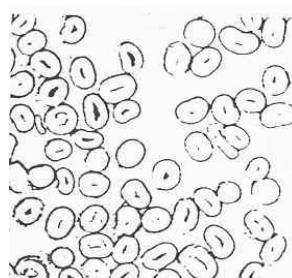


Figura 7.6

Corte transversal de fibras de algodón: Fig.7.5, antes de mercerizar ; Fig. 7.6, después de mercerizar

2.4.3- Algodón resistente al tñido.

Mercerizado y tratando luego con **cloro-sulfo-paratolueno** disuelto en tolueno el algodón desarrolla resistencia al tñido: el éster de celulosa que se forma es bastante estable y no tiene afinidad por los colorantes directos. Por otra parte se pueden obtener diferencias de tono muy atractivas si una tela

se merceriza parcialmente antes de teñirla o estamparla. También aplicando distintas tensiones durante el mercerizado se pueden obtener interesantes encogimientos diferenciales ("crepe").

BIBLIOGRAFÍA

1- "Chemistry and Chemical Technology of Cotton", Kyle Ward, Interscience Publ., 1955.

2.5.0- Lavado de lana en borra

Los objetivos del lavado de la lana son remover grasa y suciedad. Las precauciones que se deben tomar al lavar son: **1)** evitar enredos y afieltramiento, **2)** minimizar la agresión a la fibra, **3)** minimizar la polución que pueda provocar el efluente y, **4)** producir un efluente que permita la fácil recuperación de la grasa de lana.

Los criterios de control de calidad para la lana lavada y secada serán entonces: **1)** ausencia de enredos y afieltrado, **2)** % de grasa residual (0.4-0.8%), **3)** % de humedad residual, **4)** color, **5)** % de cenizas, **6)** resistencia a la tracción.

En el proceso de lavado son aspectos importantes a considerar: **1)** la apertura del fardo y del vellón, **2)** la velocidad de alimentación de lana sucia al baño, **3)** el % de detergente a emplear, **4)** el pH del baño, **5)** la temperatura en cada cuba del baño, **6)** la agitación del baño, **7)** el exprimido de la lana entre cubas, **8)** las purgas periódicas del baño sucio y **9)** la temperatura de secado de la lana lavada.

El control de pH, temperatura y agitación del baño es fundamental para prevenir el afieltrado de la lana y una emulsificación excesiva de la grasa que luego es difícil de separar. El exprimido es muy importante pues en la garganta de los rodillos exprimidores se producen altas velocidades relativas entre el baño y la fibra. Esto permite el desprendimiento de una "vaina" de grasa emulsionada con partículas de suciedad en suspensión, que de otra forma es muy difícil de remover. La extracción con solventes es otro procedimiento posible para eliminar impurezas de la lana

BIBLIOGRAFÍA

1-"Woolscouring and Allied Technology", R.G.Stewart, WRONZ, 1985.

2.6.0- Carbonizado

Este procedimiento se utiliza cuando se deben eliminar impurezas vegetales de telas de **lana cardada**. No es necesario para telas de **lana peinada**, ya que la máquina peinadora retira prácticamente todas las impurezas vegetales. En general, se hace pasar la tela de lana cardada por un baño de **ácido sulfúrico** al 2-3 % que oxida o "carboniza" los restos vegetales. Luego de neutralizar la acidez residual, se seca la tela en un túnel de aire caliente. Los vegetales carbonizados quedan quebradizos y se pasa la tela entre rodillos a presión para triturarlos. Los restos vegetales de menor tamaño son removidos entonces más fácilmente. El carbonizado debe hacerse cuidadosamente, controlando tiempos, temperatura y concentración del ácido sulfúrico. De todas maneras, la lana puede perder algo de lustre y resistencia a la tracción.

BIBLIOGRAFIA GENERAL

1- "Textile Wet Processes", Edward S. Olson, Noyes Publications, Park Ridge, N.Jersey, USA, 1983

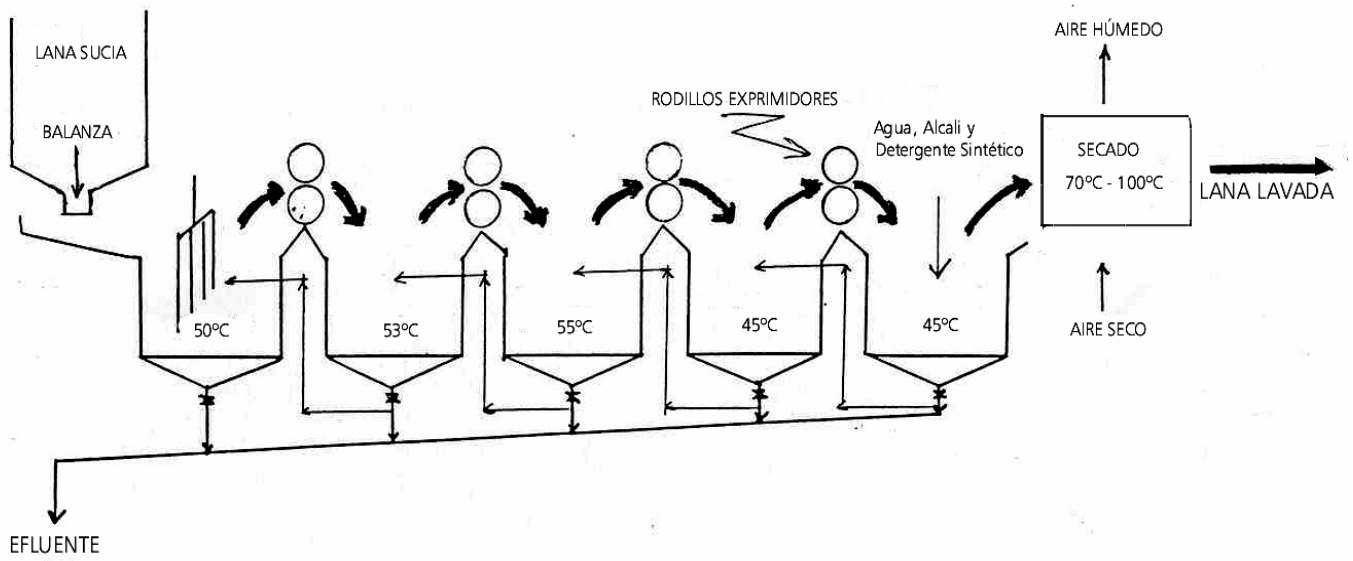


Figura 7.7 - LAVADO DE LANA EN BORRA

3.0.0- PROCESOS HUMEDOS DE COLORACIÓN

Los procesos húmedos de coloración textil son básicamente tres: el **blanqueo óptico**, la **tintura** y la **estampación**. Consideraremos acá solo el blanqueo óptico ya que los dos últimos se tratan con mayor detalle en los capítulos siguientes (*Cap. 8 y 9, respectivamente*).

3.1.0- Blanqueo Óptico

Hace más de dos siglos los cultivadores de lino blanqueaban esta fibra extendiéndola al sol y tratándola con extracto de castañas silvestres. Posteriormente se supo que estas castañas contenían **esculina**, un derivado *fluorescente* de la **cumarina**, de color violeta azulado (*la esculina es el glucósido de la 6,7-dihidroxicumarina, ver fórmula IV en la Figura 7.9*). Este fue el primer indicio que llevó a la investigación y desarrollo de los blanqueantes ópticos.

Las **sustancias fluorescentes de blanqueo óptico** son sustancias incoloras que absorben energía en la región ultravioleta - del espectro de radiación electromagnética - y la emiten en la región visible. La emisión en el visible se produce generalmente en la zona correspondiente al azul, con lo que se compensan las tonalidades amarillentas, obteniéndose "blancos" más puros y brillantes. Antes del desarrollo de los "blanqueantes ópticos" se usaban mucho los colorantes de "azuleo", que absorben el matiz amarillento del artículo pero disminuyen la cantidad total de luz remitida por lo que el nivel de blanco es menor o "más gris" (*ver Figura 7.8*).

Los "blanqueantes ópticos" se fijan a las fibras textiles en forma similar a colorantes que en lugar de tener grupos cromóforos, tienen grupos que confieren propiedades fluorescentes. La fijación de los blanqueantes ópticos depende de los mismos factores que inciden en la tintura: naturaleza de la fibra textil, temperatura, concentración, dureza del agua, pH, etc. La selección del "blanqueador óptico" debe entonces hacerse cuidadosamente. Por ej., los derivados del *ácido diaminoestilbenodisulfónico* (*Figura 7.9, fórmulas I, II, III*) son aptos para el algodón, los derivados de la *cumarina* (*Figura 7.9, fórmulas V y VI*) y otros con grupos heterocíclicos nitrogenados (*Figura 7.9, fórmulas VII y VIII*) son adecuados para otras fibras textiles.

BIBLIOGRAFÍA

1- "Bayer Farben Revue", No. Especial 7S, Enero 1966

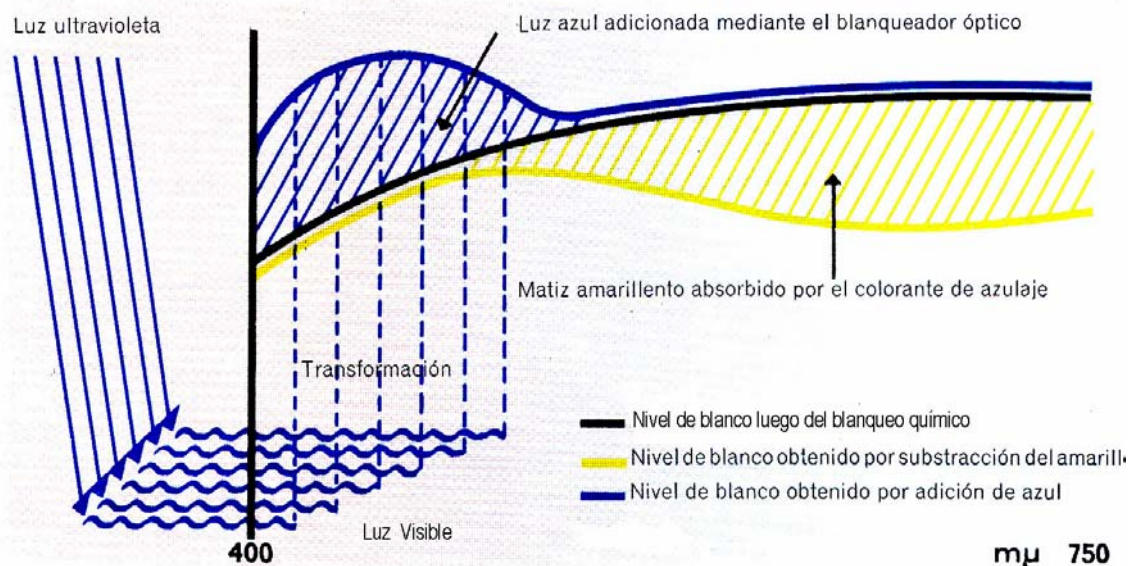
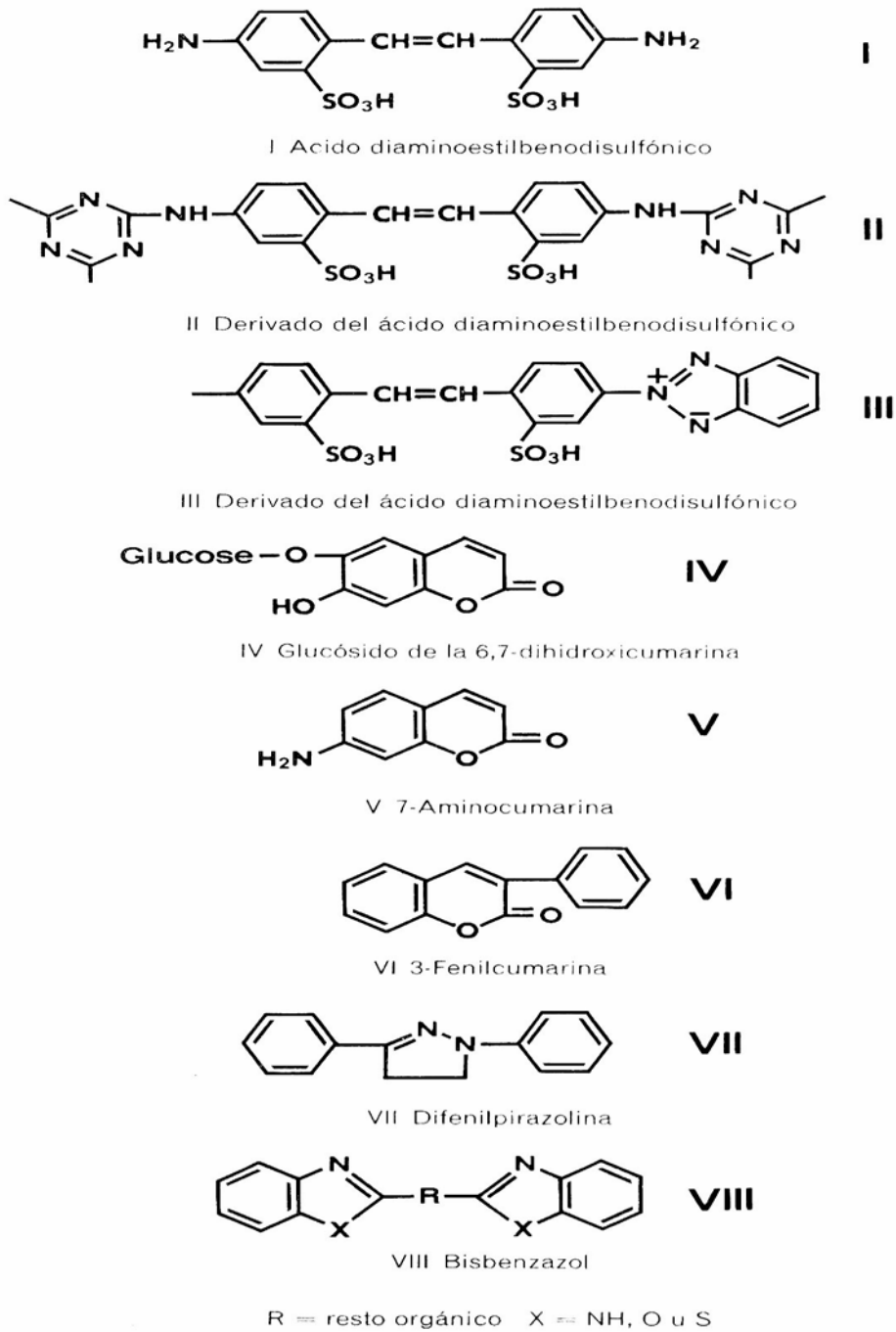


Figura 7.8



(Se ha optado por la representación antigua o clásica del núcleo bencenico)

Figura 7.9

(Fórmulas y figura tomadas de "Bayer Farben Revue", N°. especial 7S, Enero de 1966)

4.0.0- PROCESOS HÚMEDOS DE TERMINACIÓN

4.1.0- Pre encogido de telas de algodón.

Cuando se teje tela plana en un telar, para que ésta quede bien construida y con sus diseños parejos, los hilos de *urdimbre* se deben mantener bajo tensión y generalmente se les *encola* para que resistan la apertura de la calada. Las telas, especialmente las de *algodón*, luego de retiradas del telar y mientras se mantengan secas, conservan la tensión original. Una vez que la tela se *moja*, las tensiones se aflojan, y *al secar nuevamente* los hilos vuelven a su longitud original y *la tela encoge*. Es éste un "*encogimiento por relajación*", que debe diferenciarse del "*encogimiento por afieltrado*" que sufren solo las telas de *lana* cuando se las trata inadecuadamente. Por otra parte las telas, especialmente las de lana, por absorción de humedad ambiente, también pueden sufrir un fenómeno contrario al encogimiento: la "*expansión higral*", lo que puede representar un gran inconveniente para una prenda ya confeccionada, pues pueden producirse "fruncidos" en las costuras que son luego de muy difícil solución. Por esta razón antes de cortarlas las telas deben extenderse en la mesa de corte durante unas 10 horas para que alcancen el equilibrio con la humedad ambiente y se estabilicen dimensionalmente.

Si las telas de *algodón* al salir del telar son luego sometidas a procesos húmedos como p.ej. el descolado, descruce, blanqueo, mercerizado, teñido, etc., sufrirán el "*encogimiento por relajación*" en ese momento. Cuando luego el confeccionista las utilice estarán ya prácticamente estabilizadas en sus dimensiones finales. Si en cambio, las telas no han sido sometidas previamente a ningún proceso húmedo (p.ej. las telas "*crudas*"), o fueron tejidas con hilados teñidos previamente (como p.ej. las "*escocesas*", los "*denims*", etc.), saldrán del telar directamente al confeccionista. La prenda resultante sufrirá entonces el "*encogimiento por relajación*" cuando sea lavada por primera vez por el *consumidor final*, con las consiguientes disconformidades y reclamos. A una tela de algodón cruda se le debe determinar siempre, por un método standard, su encogimiento y en general este no deberá ser mayor del 1,0-1,5 %, tanto en sentido de trama como de urdimbre. Un método sencillo consiste en marcar un cuadrado de 25 x 25 cm de lado, en un trozo de tela que luego se lava con un procedimiento standard. Luego de secar a la sombra se miden nuevamente los lados del cuadrado en sentido de trama y de urdimbre. Si esta nueva medida en cm (*a la que llamaremos z*) resulta menor que 25, el porcentaje de encogimiento vendrá dado por esta sencilla fórmula:

$$\text{Encogimiento \%} = (25 - z) \times 4$$

Para evitar el "*encogimiento por relajación*" se desarrollaron procesos de *prencogido*. Uno de los más conocidos es el *sanforizado*, patentado por la firma *SANFOR* de USA y que tiene licenciarios en diversos países. El proceso consiste en impregnar la tela en una solución acuosa que contiene agentes lubricantes, desaereantes, humectantes y suavizantes. Luego se hace avanzar la tela en el sentido de la urdimbre, empujándola y frenándola por delante, de tal forma que se le comprime en una magnitud equivalente a la tensión previa que tenía aplicada y la mantenía estirada. Cuando la tela se moje, los dos efectos se compensarán y la tela, cuando se seque nuevamente, no encogerá.

4.2.0- Tratamientos especiales para telas de algodón.

En general, los tratamientos especiales *antiarruga* ("*durable press*"), *lavilista* ("*wash and wear*"), *ignífugo*, *hidrófugo* o *impermeabilizante*, etc., se aplican por impregnación en un "*foulard*" utilizando productos especiales¹. La aplicación en "*foulard*" (o "*padding*" o en "*pad*") consiste en hacer pasar la tela en forma continua por una cubeta que contiene el producto o solución de impregnación, para luego exprimir la tela entre rodillos y secar o "curar" en un túnel de aire caliente o

¹ Por ejemplo, los polifluoretanos (como el Teflón de la empresa DuPont) son, en general, los productos impermeabilizantes más usados.

"rama tensora" (ver "Equipos y Procedimientos de Tintura" en Cap. 08 "La Tintura Textil"). El **suavizado** se hace en general con productos de naturaleza catiónica si bien también pueden utilizarse aniónicos y no iónicos. Se aplican comúnmente en los enjuagues finales con métodos continuos o discontinuos.

4.3.0- *Tratamientos especiales de telas de lana*

(Ver también Cap. 3 "La Lana. Estructura y Propiedades").

4.3.1- *Batanado*

Se emplea para producir un **afieltrado controlado** en las telas planas de lana. Se somete a la tela a acción mecánica en soluciones neutras, alcalinas o ácidas según el tipo de batanado. El batanado ácido deja una terminación más brillante, el alcalino una mano más suave.

4.3.2- *Decatizado*

Se hace para mejorar la mano, el brillo y la estabilidad dimensional de telas generalmente hechas con **hilados peinados**. Se enrolla la tela bien tensionada en un cilindro perforado y se le sumerge en **agua caliente que circula a través de la tela (decatizado húmedo) o se hace pasar vapor seco a través de ella (decatizado seco)**. Cuanto mayor la tensión aplicada a la tela, más "dura" será la mano que se obtendrá. El decatizado puede ser atmosférico a 100°C, durante unos 5 minutos, o a alta presión (110-120°C) en cuyo caso debe ser brevísimo: 20-30 segundos.

4.3.3- *"Crabbing" o "Setting"*

Se realiza para evitar que la tela de lana construida con **hilado peinado** se arrugue o deforme durante los siguientes procesos húmedos y se deben aflojar las tensiones que provienen de operaciones previas. Para ello, la tela se trata en **agua hirviendo en forma abierta a lo ancho, tensionada en sentido de urdimbre, manteniendo la tensión durante el enfriamiento**. La tela queda con una mano similar al decatizado atmosférico y más suave que con el decatizado a alta presión.

4.3.4- *"Potting"*

Se hace para mejorar la mano, el brillo y la estabilidad dimensional de telas generalmente construidas con **hilado cardado**. La tela ya teñida se enrolla en un cilindro (*no perforado*) y se sumerge en agua. **La temperatura del agua y la duración del tratamiento dependerá del efecto deseado. La tela se deja enfriar enrollada. Si se enfría bruscamente queda con mano dura, si se enfría lentamente queda con mano suave.**

4.3.5- *Vaporizado*

El vaporizado se emplea para aflojar las tensiones de los **hilados**. Los conos o bobinas se colocan en equipos cerrados y se les vaporiza a temperaturas y tiempos que para la lana deben ser moderados y dependerán de las torsiones aplicadas al hilado.

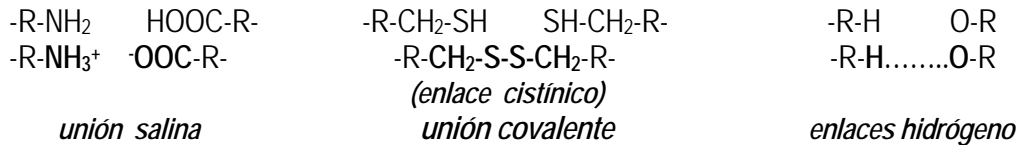
4.3.6 – *Tratamientos antiafieltrantes y antipolilla*

Existen una variedad de procedimientos patentados para eliminar o recubrir las escamas de la fibra de lana que son la causa del afieltrado. Algunos de los procedimientos utilizan cloro o enzimas (*queratinasas*) para eliminar las escamas o resinas especiales para recubrirlas. Existen también tratamientos con productos químicos contra la polilla, el enemigo natural más importante de la lana.

4.3.7- *Efecto de los procesos húmedos de terminación sobre la queratina de la lana*

La **queratina** es el polímero lineal característico de la lana (*también de los pelos, uñas, etc.*) con un peso molecular promedio de 60.000. Es una **proteína** formada por 18 diferentes alfa-aminoácidos, de fórmula general $H_2N.CHR.COOH$, que se unen y se repiten para dar una larga cadena polipéptida de doble hélice. La **alfa-queratina** corresponde a la hélice en reposo y la **beta-queratina**

corresponde a la hélice estirada. Existen uniones químicas entre grupos funcionales de una misma cadena polimérica o *entre los de diferentes cadenas poliméricas* ("cross linking"), del tipo que se muestra a continuación:



Los enlaces hidrógeno están en un plano perpendicular al de las uniones salinas y covalentes. El 50% del peso total del polímero corresponde a la "columna vertebral" $-HN-CH-CO-NH-$ y el otro 50% a las cadenas laterales **R**. La mayor parte de las cadenas laterales son voluminosas. Eso impide un acercamiento estrecho entre las cadenas poliméricas y por tanto no es posible un alto grado de "empaquetamiento" y de cristalinidad, como ocurre p.ej. con la seda o las fibras poliamídicas. La lana es una fibra con aproximadamente un 20% de cristalinidad y un 80% de amorficidad por lo que la mayor parte de la fibra es accesible a los colorantes. A pesar de que la lana resiste inicialmente el mojado debido a su epicutícula hidrófoba, luego que el agua penetra, la queratina es atacada en mayor o menor grado, alterándose las resistencias a la tracción y a la abrasión.

En medio fuertemente ácido, pH =3.0 ó <3.0, se produce hidrólisis de la **queratina** con ruptura de uniones peptídicas y formación de algunos aminoácidos libres. Se pueden también introducir algunos grupos sulfónicos y la acción es tanto más intensa cuanto mayor la temperatura y el tiempo de acción. El resultado es un aumento de la solubilidad de la lana en álcali (*Norma UNIT 470-75*). Los procesos en los cuales se puede producir este tipo de ataque son: **1) la tintura con colorantes ácidos del grupo 1** ("de buena igualación") y con **colorantes premetalizados 1:1**, pues son tinturas que se realizan a *pH 1,9 – 3,5*; **2) el "carbonizado"** para eliminar contaminación con vegetales, que se realiza con ácido sulfúrico al 2-3 %

En medio ligeramente ácido, pH =6.0 se pueden producir rupturas de enlaces cistínicos con formación de enlaces lantionínicos: $-CH_2.S.S.CH_2-$ \rightarrow $-CH_2.S.CH_2-$ y el consiguiente aumento de la "**solubilidad en urea-bisulfito**" (*Norma UNIT 352-74*). Los procesos en los que se puede producir este tipo de ataque es la **tintura con colorantes ácidos del grupo 3** que tiñen a pH alrededor de 6. A pH entre 6 y 7 y a temperaturas altas, se produce también algo de hidrólisis de la **queratina** como en el caso anterior.

En medio neutro, pH =7.0, p.ej. cuando se moja lana con agua pura, la fibra se hincha aproximadamente 1.2% a lo largo y 18% a lo ancho. Esto es debido al debilitamiento de las uniones salinas y a la rotura de los enlaces hidrógeno entre las cadenas vecinas de queratina. Se forman poros de aproximadamente 60 Å que permiten la entrada de moléculas grandes, como las de un colorante. A mayor temperatura esto ocurre con mayor intensidad. Si la lana se trata bajo tensión, con agua hirviendo o vapor saturado por más de 15 minutos, se rompen los enlaces cistínicos y los de hidrógeno, pero que se vuelven a formar en otros lugares de la cadena. De esta forma la lana luego conserva las dimensiones adquiridas bajo tensión ("**decatizado**", "**crabbing**", "**potting**").

En medio ligeramente alcalino, pH =7.5 - 8.0 comienza a producirse un ataque hidrolítico generalizado a la molécula de queratina. A baja temperatura, por ej. hasta 50°C, el ataque es escaso, pero por encima de esa temperatura puede ser importante. El proceso de mayor riesgo es el **lavado alcalino de la lana sucia** (*en borra*), donde nunca deben superarse los 50°C y un pH de 9.0, con tiempos de retención en las bateas de lavado muy breves. Por encima de pH 9.0 y a altas temperaturas, la destrucción de la lana puede ser total.

En condiciones reductoras, con agentes reductores energicos, se rompen los enlaces cisticos y se convierten los grupos disulfuro en grupos tioles: $-\text{CH}_2\text{S.S.CH}_2- \rightarrow -\text{CH}_2\text{SH} + \text{SH.CH}_2-$

Una reducci3n de aproximadamente un 20% de los grupos disulfuro, le imparte a la lana algo de resistencia al encogimiento y facilita mucho las operaciones de fijado (*"decatizado"*, *"potting"*, etc.). Si, en cambio, son muchos los grupos disulfuro reducidos, se produce una disminuci3n inaceptable de la resistencia a la tracci3n. El *blanqueo quimico* con agentes reductores como el hidrosulfito de sodio o el "desmontado" de colorantes con *formaldehido sulfoxilato*, son los procesos en los que existe riesgo de un tratamiento excesivo de este tipo y de un consecuente da1o para la fibra lana.

En condiciones oxidantes se atacan los enlaces cisticos resultando una serie de productos intermedios y la introducci3n de grupos sulf3nicos : $-\text{CH}_2\text{S.S.CH}_2- \rightarrow -\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H} + \text{SO}_3\text{H.CH}_2-$

La introducci3n de grupos sulf3nicos en la cadena de queratina disminuye la afinidad de esta por los colorantes 1cidos y, adem1s aumenta la solubilidad de la lana en *urea-bisulfito* y *1cali* (*Normas Unit 352-74 y 470-75*). Los procesos donde se puede producir este tipo de da1o son el *blanqueo oxidante con per3xido de hidr3geno*, la *tintura al cromo* y los *tratamientos antifieltrantes con cloro*.

BIBLIOGRAFIA

- 1- *"Textile Finishing Chemicals"*, Ernest W. Flick, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, USA
- 2- *Folleto comerciales de las firmas que ofrecen productos para la terminaci3n textil.*
- 3- *"Wool Science"*, 1990, SCIRO, PO Box 21, Belmont Victoria 32 16 Australia
- 4- *"The Dyeing and Finishing of Wool Fabrics"*, I.Bearpark, F.W.Marriot,J.Park. The Society of Dyers and Colourists, England, 1986.
- 5- *"Introduzione al Finissaggio Laniero"*, M. Bona, G.B. Paravia & C.S.p.A., 10139 Torino-Corso Racconigi 16

TABLA 7.9- ALGUNOS PROCEDIMIENTOS PARA EL QUITADO DE MANCHAS

MANCHAS DE	ALGODÓN, LINO, VISCOSA	LANA, SEDA, NYLON
HUEVO, SANGRE, ALBÚMINA, ETC. (manchas frescas)	1- Lavar con agua tibia. Nunca con agua caliente pues se puede fijar más la mancha ó, 2- Lavar con una solución acuosa de fosfato trisódico al 2%, tibia.	3- Igual que 1
HUEVO, SANGRE, ALBÚMINA, ETC. (manchas secas)	4- Lavar con una solución acuosa de fosfato trisódico al 2%, tibia. Si es necesario un tratamiento más intenso y el artículo no está teñido, se le puede tratar con una solución diluida de hipoclorito de sodio. En caso de artículos teñidos y manchas rebeldes, es recomendable un tratamiento enzimático con proteasas.	5- Igual que para el algodón pero, si fuera necesario blanquear, no usar nunca hipoclorito de sodio sino peróxido, perborato o percarbonato de sodio
CERVEZA, VINO, FRUTA, COCOA, CHOCOLATE, TÉ, CAFÉ.	6- Lavar con agua tibia y jabón. Las manchas rebeldes se pueden tratar con una solución de fosfato trisódico al 2% y si es necesario y el artículo no está teñido, blanquear con una solución diluida de hipoclorito de sodio.	7-Igual a 5
LECHE, HELADO, CREMA.	8- Lavar con agua no muy caliente y jabón. Si quedan restos de grasa, tratar la mancha con tricloro o percloroetileno colocando un poco de algodón por debajo de la tela para absorber	9-Igual a 8
SALSAS, JUGO DE CARNES COCIDAS, MOSTAZA, ETC.	9- Frotar localmente con agua tibia y jabón. Luego tratar como en 8	11-Igual a 10
TRANSPIRACIÓN	12- Lavar con agua tibia y jabón. Blanquear con agua oxigenada o permanganato de sodio tratando luego con ácido oxálico. Usar soluciones diluidas (5% aprox.) y si el artículo está teñido hacer un ensayo antes.	13-Igual a 12
CÉSPED	14- Lavar con agua tibia y jabón. Para manchas rebeldes frotar con ácido oleico y luego con amoníaco. Enjuagar con agua y luego con alcohol.	15-Igual a 14. Si es necesario, blanquear con peróxido, perborato o percarbonato de sodio
HONGOS	16- Lavar con agua tibia y jabón. Blanquear con hipoclorito o permanganato seguido de ácido oxálico o bisulfito.	17-Igual a 16
OXIDO DE HIERRO	18- Tratar con una solución acuosa al 3% en ácido oxálico y al 3% en bifluoruro de potasio y enjuagar. Mantener la tela sumergida en la solución hasta que la mancha desaparezca. Enjuagar con agua y luego con amoníaco diluido.	19-No usar ácido oxálico. Tratar con hidrosulfito de sodio
IODO	20- Tratar con solución diluida de tiosulfato de sodio o con alcohol y amoníaco.	21-Igual que 20
LÁPIZ DE LABIOS	22- Remover primero la grasitud con tricloroetileno, percloroetileno o acetato de butilo. Luego, si queda colorante, extraerlo con alcohol. Si es necesario, blanquear con hipoclorito o hidrosulfito de sodio.	23-Igual que 22 pero el blanqueo se debe hacer con hidrosulfito, agua oxigenada, percarbonato o perborato, y nunca con hipoclorito.
POMADA DE ZAPATOS	24- Lavar con agua tibia y jabón. Tratar con tricloroetileno o percloroetileno o con una mezcla de partes iguales de acetato de amilo y acetona o con alcohol. Si es necesario, blanquear con hipoclorito.	25- Igual que 24 pero si es necesario blanquear hacerlo con agua oxigenada, perborato o percarbonato y nunca con hipoclorito

MANCHAS DE	ALGODÓN, LINO, VISCOSA	LANA, SEDA, NYLON
CHAMUSCADO SUPERFICIAL (sin gran daño de la tela)	26- Lavar con agua tibia y jabón. Blanquear con hipoclorito o con agua oxigenada	27-Igual a 26 pero blanqueando con agua oxigenada y no con hipoclorito
ALQUITRÁN Y ACEITES MINERALES	28- Tratar con tricloroetileno o percloroetileno colocando un poco de algodón absorbente por debajo de la tela. Restregar hacia el centro de la mancha y no hacia afuera, para evitar la formación de halo. Tratar luego con ácido oleico y amoníaco diluido.	29-Igual a 28
TINTAS DE ESCRITURA	30- Tratar con ácido oleico y amoníaco. Lavar con agua y jabón. Tratar con ácido oxálico. Tratar con hipoclorito. Lavar inmediatamente con agua y jabón. Si queda una mancha ligeramente marrón, tratar con hidrosulfito de sodio diluido.	31-Tratar con ácido oleico y amoníaco. Tratar con ácido clorhídrico diluido al 2%. Tratar con hidrosulfito dil. Si es necesario repetir el tratamiento con ácido clorhídrico e hidrosulfito y blanquear con agua oxigenada, perborato o percarbonato.
TINTAS DE MARCAR, COPIAR, ETC.	32- Tratar con alcohol, luego con ácido oleico y amoníaco Blanquear si es necesario con hipoclorito.	33-Igual a 32, pero blanquear con agua oxigenada.
TINTAS DE MARCAR, COPIAR, ETC.	34- Tratar con alcohol, luego con ácido oleico y amoníaco. Blanquear si es necesario con hipoclorito.	35-Igual a 32, pero blanquear con agua oxigenada
TINTAS DE IMPRENTA	36- Igual a 28 y blanquear luego con hipoclorito.	37-Igual a 28 y blanquear con agua oxigenada.
PINTURA	38- Tratar con tricloroetileno, percloroetileno o una mezcla de partes iguales de acetato de amilo y acetona. Tratar con ácido oleico y amoníaco dil. Lavar con agua tibia y jabón.	39-Igual que 36
<p>NOTAS: La remoción de manchas de artículos teñidos debe hacerse con especial cuidado, ensayando previamente el método de remoción en una parte no visible del artículo textil. Para la remoción de manchas de artículos hechos con mezclas de fibras, se debe usar el método adecuado para la fibra más sensible. Los artículos de rayón acetato y triacetato pueden tratarse igual que el algodón (nunca se deben poner en contacto con solventes oxigenados como la acetona, acetatos de etilo, butilo, amilo, etc.). Los artículos de poliéster y acrílico son más resistentes al manchado y pueden, en general, tratarse también con los métodos recomendados para el algodón.</p>		

CAPITULO VIII

LA TINTURA TEXTIL



CONTENIDO	página
1. 0. 0- INTRODUCCIÓN.....	32
2. 0. 0- LA QUIMICOFISICA DE LA TINTURA TEXTIL.....	34
2. 1. 0- Termodinámica de la tintura.....	38
2. 2. 0- Cinética de la tintura.....	52
3. 0. 0- LOS COLORANTES. Introducción. Los colorantes naturales	59
3. 1. 0- Clasificación química de los colorantes.....	66
3. 1. 1- Colorantes azo.....	66
3. 1. 2- Colorantes azo-estilbeno.....	67
3. 1. 3- Colorantes básicos.....	67
3. 1. 4- Colorantes antraquinónicos.....	69
3. 1. 5- Colorantes tina antraquinónicos.....	70
3. 1. 6- Colorantes tina indigoides.....	71
3. 1. 7- Colorantes sulfurosos.....	72
3. 1. 8- Colorantes metalizados.....	73
3. 1. 9- Colorantes reactivos.....	74
3. 1.10- Pigmentos.....	77
3 2. 0- La "Solidez" de los Colorantes.....	79
3. 3. 0- Nomenclatura Comercial.....	80
3. 4. 0- El Color Index.....	81
4. 0. 0- TINTURA DE FIBRAS TEXTILES.....	83
4. 1. 0- La tintura de la lana.....	83
4. 2. 0- La tintura del algodón.....	93
4. 3. 0- La tintura de las fibras artificiales y sintéticas.....	101
5. 0. 0- EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE TINTURA INDUSTRIAL.....	105
5. 1. 0- Tintura por Agotamiento.....	108
5. 1. 1- Impulsores del baño de tintura.....	112
5. 2. 0- Autoclaves.....	116
5. 3. 0- Armarios.....	121
5. 4. 0- "Jiggers".....	122
5. 5. 0- Barcas de torniquete.....	124
5. 6. 0- "Jets".....	126
5. 7. 0- Tintura por Impregnación.....	130
5. 7. 1- Con colorantes de baja afinidad.....	132
5. 7. 2- Con colorantes de alta afinidad.....	132
5. 7. 3- Fijado.....	134
6. 0. 0- PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.....	136

1.0.0- INTRODUCCION

Las responsabilidades que el tintorero debe asumir en el desempeño de su tarea son variadas y complejas. La siguiente es una lista no exhaustiva de ellas:

- 1) **Revisar** el material textil antes de procesarlo. Verificar que no lo recibe manchado, con deterioros (*p.ej. telas agujereadas o rasgadas, etc.*), registrar el peso y el encogimiento. Medir su resistencia a la tracción y el desgarre.
- 2) Asegurarse de la **calidad del agua** a utilizar, controlando frecuentemente su "dureza", su turbidez, etc.
- 3) Realizar una **buena preparación** del material antes de proceder a la tintura, lavando, descruando, desencolando o blanqueando, cuando sea necesario.
- 4) Elegir los **colorantes adecuados** para el material a teñir teniendo en cuenta, según los requerimientos del cliente, la igualación, las solideces húmedas, la solidez a la luz, la disponibilidad del colorante en el mercado y el costo final de la tintura. Para hacer una buena elección debe hacer ensayos previos de laboratorio.
- 5) Utilizar los **equipos y métodos** más apropiados para la forma de presentación y las propiedades del material a teñir (*borra, top, hilado, tela, prenda*).
- 6) Lograr **igualación con el estándar** de color presentado por el cliente.
- 7) Lograr **igualación dentro del lote** o partida a teñir, *p.ej. a) para hilados* en bobinas con mucha torsión insertada, *b) para telas* donde es fundamental una buena igualación orillo a orillo y cabeza a cola, *c) para prendas*, donde una mala tintura tiene un costo muy alto pues el artículo tiene mucho valor agregado.
- 8) Lograr **igualación entre partidas** es decir, **reproducibilidad** entre partidas.
- 9) Alterar lo menos posible las propiedades mecánicas del material a teñir (*p.ej. resistencia a la tracción y al desgarre, suavidad, etc.*). **No dañar el material**, dejando, p.ej. marcas o arrugas en las telas por utilizar procedimientos de tintura muy agresivos, con tiempos muy prolongados y/o temperaturas excesivas. Debe por tanto utilizar preferentemente procedimientos de tintura sencillos.
- 10) **No contaminar el medio ambiente** utilizando la cantidad justa y necesaria de agua, energía y colorantes, usando las relaciones de baño más bajas posibles, agotando bien los baños y tratando los efluentes antes de verterlos.
- 11) **Llevar registros escritos** de los procedimientos utilizados y de las partidas teñidas conservando muestras de los materiales antes y después de teñidos.

Para resolver todos estos problemas con éxito y estar a la altura de las responsabilidades que se le exigen, el tintorero deberá poseer muy buenos conocimientos teóricos y prácticos, sumados a una muy buena experiencia. En las *Tablas 8.1 y 8.2* hemos resumido algunos de los temas teóricos y prácticos relacionados con la tintura textil. En las páginas siguientes esos temas serán considerados más detalladamente.

TABLA 8.1 - TEMAS TEÓRICOS RELACIONADOS CON LA TINTURA TEXTIL	
FIBRA	1- Estructura Molecular 2- Grupos funcionales y carácter iónico 3- Grado de orden: cristalino vs. amorfo 4- Hidrófila / Hidrófoba
COLORANTE	5- Tamaño y forma molecular 6- Asociación molecular 7- Tensoactividad 8- Grupos funcionales y carácter iónico 9- Grupos cromóforos y auxócromos 10- Coeficiente de difusión (en baño y en fibra) 11- Potencial Químico (en el baño y en la fibra)
INTERACCIÓN ENTRE FIBRA Y COLORANTE	12- Equilibrio termodinámico y afinidad 13- Fenómenos de membrana (efecto Donnan) 14- Cinética de tintura 15- Relación de baño 16- Agitación del baño 17- Tipo de unión química (reversible / irreversible)

TABLA 8.2 - TEMAS PRÁCTICOS RELACIONADOS CON LA TINTURA TEXTIL
<p align="center">Maquinaria y equipos a utilizar</p> <p align="center"><i>Presentación del material a teñir: fibra, mecha, hilado en cono, madeja, plegadores de urdimbre, tejido plano o de punto, prenda. Tintura por agotamiento o por impregnación, a presión atmosférica o más alta; en el caso de tintura de tela: a lo ancho o "en cuerda", etc.</i></p>
<p align="center">Tipo de colorantes a utilizar</p> <p align="center"><i>Naturaleza del material a teñir: algodón, lana, fibras artificiales y sintéticas, etc. Disponibilidad y costos</i></p>
<p align="center">Uso final del material a teñir</p> <p align="center"><i>Solideces húmedas, al calor, a la luz, al frote, etc.</i></p>
<p align="center">Color a obtener:</p> <p align="center"><i>Reproducción del tono standard, repetibilidad del tono de una partida a otra, igualación del tono dentro de una misma partida.</i></p>
<p align="center">Utilización del agua y la energía:</p> <p align="center"><i>tratamiento del agua de proceso, tratamiento de efluentes, uso adecuado del vapor, etc.</i></p>

TABLA 8.3 - ESTIMACION DE LOS COSTOS DE LA TINTURA TEXTIL

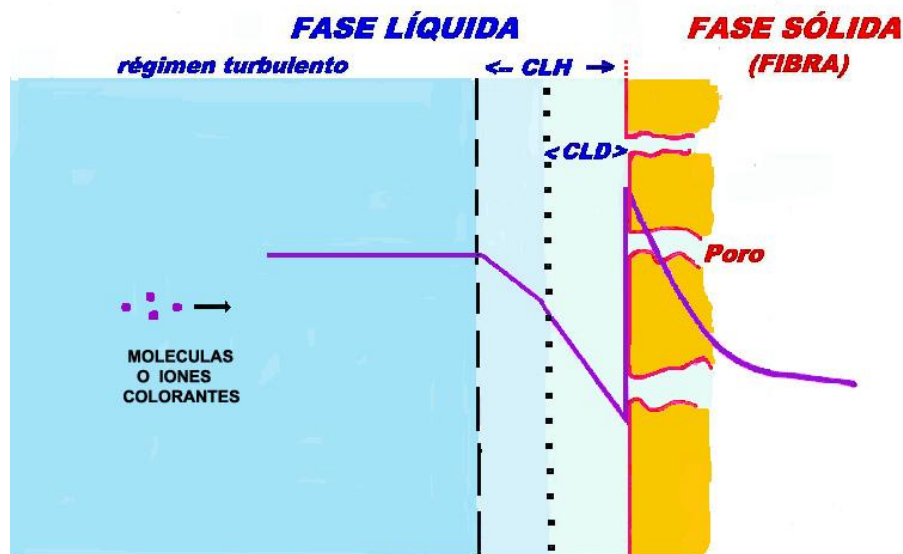
<i>Colorantes y Productos Químicos</i>	<i>20-25%</i>
<i>Mano de Obra</i>	<i>12-18%</i>
<i>Agua y Energía</i>	<i>45-50%</i>
<i>Otros</i>	<i>7-23%</i>
<i>Costo de la Tintura</i>	<i>100%</i>
<i>Costo del Matizado</i>	<i>40%</i>
<i>Costo de Reproceso</i>	<i>150%</i>

2.0.0- QUIMICA FISICA DE LA TINTURA

La tintura de fibras textiles se debe considerar como un fenómeno de transferencia de masa en un sistema de **dos fases**: una **fase sólida** constituida por la **fibra textil** y una **fase líquida** constituida por una **solución acuosa** de uno o más **colorantes hidrosolubles** (*más otras sustancias auxiliares, como pueden ser tensoactivos, electrolitos, etc.*). El caso especial de los colorantes no hidrosolubles, como los **colorantes dispersos** se considerará más adelante al comentar la tintura de la fibra poliéster. También es posible la tintura con soluciones no acuosas pero por ahora es un procedimiento de poca aplicación práctica en la tintura textil.

Los colorantes están constituidos en general por moléculas de gran tamaño y pueden clasificarse en: **1) aniónicos**, que en solución se disocian en un gran anión colorante y en un pequeño catión incoloro (*como p. ej. sodio*), **2) catiónicos**, que a la inversa, se disocian en un gran catión colorante y en un pequeño anión relativamente incoloro (*como p. ej. el cloruro*) y, **3) no iónicos** que no se disocian y son en general de baja solubilidad debiendo mantenerse en dispersión con la ayuda de dispersantes (*como p.ej. los colorantes dispersos ya mencionados*). Se debe tener en cuenta que con concentraciones de colorante y de electrolitos muy altas se pueden producir **asociaciones moleculares** con precipitación del colorante.

Al introducir fibras textiles en una solución acuosa de colorante, las **partículas colorantes** de este migran hacia el interior de la fibra, recorriendo las siguientes etapas: **I) difusión** en la fase líquida, **II) adsorción** en la interfase líquido/fibra, **III) difusión** en el interior de la fibra y, finalmente, **IV) fijación** en el interior de la fibra (*ver Figura 8.1*).



▲ Concentración de las partículas colorantes, en unidades de concentración

► Distancia relativa a la interfase fibra/solución, unidades de longitud

Figura 8.1

I) Difusión en la fase líquida. Si la fase líquida está uniforme e intensamente agitada, las condiciones hidrodinámicas son las de un régimen **turbulento** y la concentración de colorante será igual en casi toda la fase líquida. Adyacente a la **interfase líquido/fibra** se supone la existencia de una delgada capa de líquido donde el régimen hidrodinámico es **laminar** ("Capa Límite Hidrodinámica" o **CLH**) y, más cerca de la interfase, una capa aún más delgada, de dimensiones moleculares, donde **no hay movimiento hidrodinámico** y solo **difusión molecular pura** de las partículas colorantes ("Capa Límite Difusional" o **CLD**). El volumen de solución dentro de los numerosos poros que tiene la fibra se *considera* que forma parte de la

CLD. En ella se concentra la mayor parte de la resistencia que encuentra el colorante para pasar de la fase líquida a la fase sólida y por tanto habrá un límite para la intensidad de agitación, por encima del que no se consiguen mejoras en la velocidad de tintura. En la **CLD** se cumplirá la **1ª ley de Ficks**:

$$F = -D (\partial c / \partial x)$$

donde **F** es el “flujo” o la cantidad de colorante transferido por unidad de tiempo y por unidad de área normal a la dirección del flujo; **D** es el coeficiente de difusión del anión, catión o molécula colorante, según el caso, y que varía con la temperatura. El gradiente de concentración en la dirección del flujo es $\partial c / \partial x$. El signo negativo indica que la difusión tiene lugar en sentido contrario al aumento de concentración.

II) Adsorción en la interfase. Vimos como en la fase líquida se produce entonces un **gradiente de concentración de colorante** desde un máximo, en la zona de turbulencia, hasta un mínimo en la interfase líquido/fibra. Pero cuando las partículas colorantes (*aniones, cationes o moléculas*), luego de atravesar la **CLH** y la **CLD**, llegan a la **interfase líquido/fibra** (o mejor, *líquido/moléculas poliméricas de la fibra*) se comportan como tensoactivos, reduciendo la tensión superficial del agua y acumulándose en esa **interfase**. Se produce entonces allí un **exceso de concentración** de acuerdo a la ecuación de Gibbs:

$$\Gamma = -\frac{a}{RT} \left(\frac{\partial \gamma}{\partial a} \right)_T$$

donde **Γ** es el exceso de concentración en la interfase con respecto al seno de la fase líquida (*en moles/cm²*); **a** es la actividad, que para soluciones diluidas puede sustituirse por la concentración **c** (*en mol/l*); **γ** es la tensión superficial (*en erg/cm²*); **T** es la temperatura absoluta en grados Kelvin (**K**) y **R** la constante universal ($8,3144 \times 10^7$ *ergios. mol⁻¹. K⁻¹*). Es importante destacar que la tintura comienza en esta **interfase**. Las fibras naturales, como p.ej. el algodón y la lana, tienen una enorme superficie en relación a su masa, estimada en unos **100 m² por gramo de fibra**. Esta superficie correspondería principalmente a intersticios internos de la fibra mientras que la superficie externa se estima solamente en 1% del total.

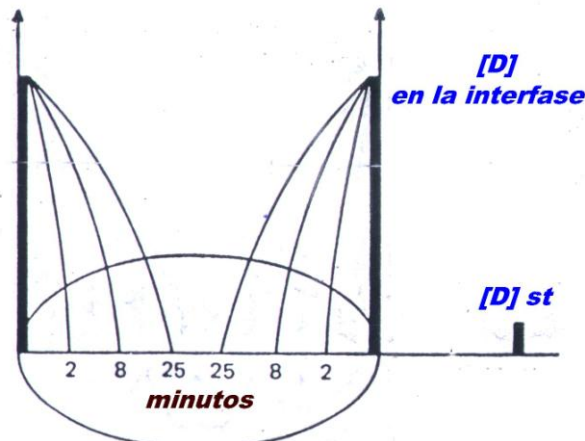
III) Difusión en la fase sólida. Luego de este aumento de concentración en la interfase, las partículas colorantes comienzan a **difundir dentro de la fibra**, hasta que, eventualmente se llega a una **concentración de equilibrio**. La difusión ocurre casi exclusivamente dentro de las zonas de estructura **amorfa** de la fibra. Si la fibra está compuesta de cadenas poliméricas muy ordenadas, con zonas de alta cristalinidad, como p.ej. el poliéster, la tintura se hace muy difícil. Como se verá más adelante, el poliéster se debe teñir a altas temperaturas o, empleando auxiliares llamados “carriers”, que plastifican o abren las zonas cristalinas permitiendo que las partículas colorantes difundan con más facilidad

IV) Fijación del colorante. La fijación del colorante a la fibra dependerá de varios aspectos. Si el colorante tiene **baja afinidad** por la fibra, la difusión del colorante dentro de la fibra se verá facilitada y en general se obtendrán tinturas completas e igualadas. Si en cambio, el colorante tiene **alta afinidad** por la fibra, las primeras cantidades que se fijen molestarán la difusión del resto de colorante que viene detrás. Se obtendrán así tinturas incompletas o desiguales o “**anulares**”. En la *Figura 8.6*, **a** sería el caso de un colorante de alta afinidad con el que se obtendría una tintura “**anular**”, **c** el de un colorante de baja afinidad con el que se obtendría una tintura uniforme o igualada, **b** el de un colorante con afinidades intermedias entre las de **a** y **c**. Naturalmente, **a** y **b** también pueden representar las etapas previas en que un colorante de baja afinidad alcanza el equilibrio en **c**. La **afinidad** del colorante por la fibra es la **diferencia** entre el **potencial químico** del colorante en su **estado estándar en la fibra** y el de su **estado estándar**

en solución, y es función de las **concentraciones finales de equilibrio del colorante en la fibra y en la solución** (más adelante volveremos a referirnos a estos conceptos químico físicos).

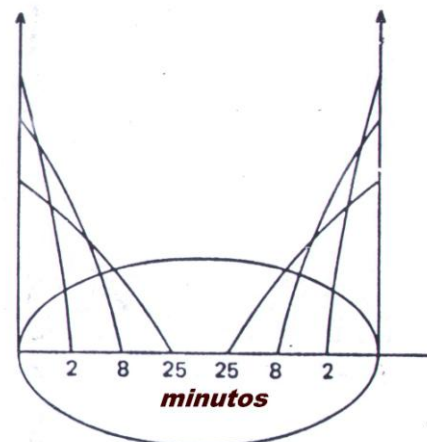
En general: **1)** en la tintura de lana con colorantes **ácidos** el colorante se fija por enlaces de hidrógeno, enlaces electrovalentes y fuerzas de Van der Waals (*variando la participación de cada tipo de unión según el colorante pertenezca al grupo I, II o III*); **2)** en la tintura de algodón con colorantes **directos** la fijación es por enlaces hidrógeno y fuerzas de Van der Waals, **3)** en la tintura de algodón con colorantes **reactivos** la fijación es por formación de enlaces covalentes, **4)** en la tintura de algodón con colorantes **tina** (luego que estos son oxidados e insolubilizados) no se produce una unión química sino una retención mecánica, etc. Dependiendo de la estabilidad de estos enlaces la unión será **reversible** o no (ver Tabla 8.4).

DIFUSIÓN DEL COLORANTE HACIA EL INTERIOR DE LA FIBRA



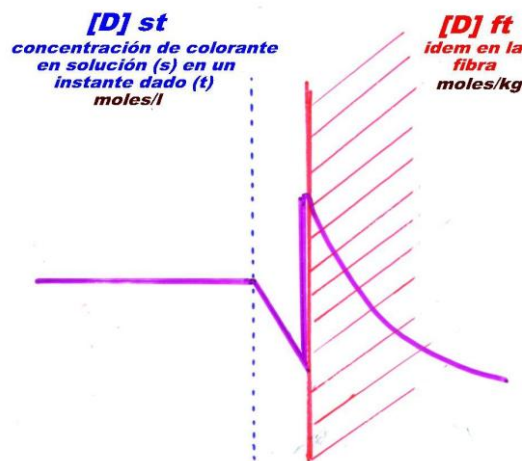
Concentración en interfase constante

Figura 8.2



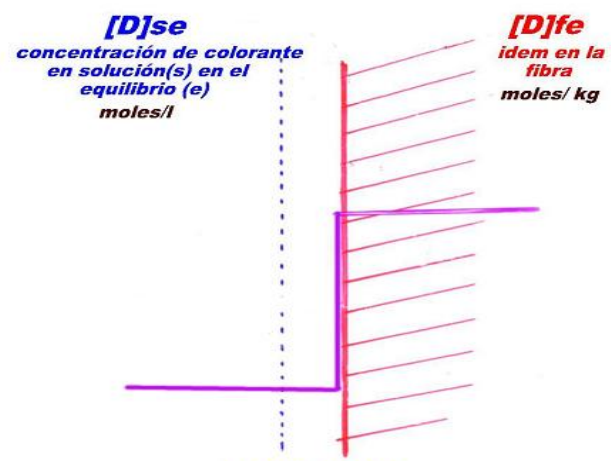
Concentración en interfase decreciente

Figura 8.3



ESTADO TRANSIENTE

Figura 8.4



EQUILIBRIO

(especialmente en el caso de un colorante de BAJA AFINIDAD)

Figura 8.5

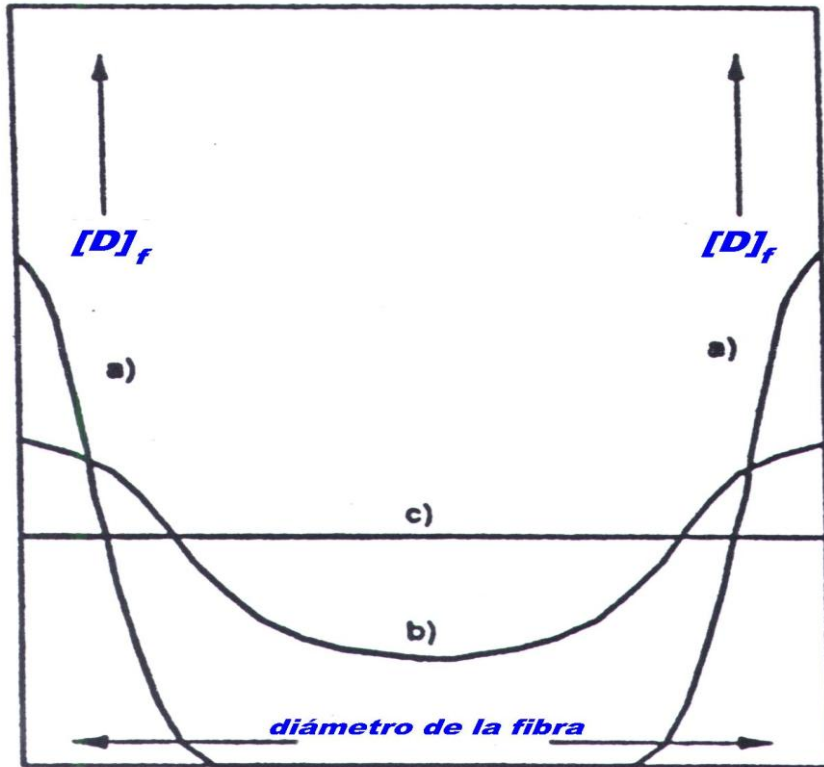


Figura 8.6

TABLA 8.4 - POSIBLES TIPOS DE UNIÓN ENTRE COLORANTE Y FIBRA

MECANISMO	TIPO DE UNIÓN	REVERSIBILIDAD
ESPECÍFICOS	enlace de hidrógeno	+
	enlace covalente	-
	enlace covalente dativo	-
NO ESPECÍFICOS	fuerzas de Van der Waals	+
	enlaces electrovalentes	+
	enlaces ión/dipolo	+
	enlaces dipolo/dipolo	+
	retención mecánica	-

2.1.0- TERMODINÁMICA DE LA TINTURA

2.1.1- Isotermas de Adsorción

La tintura es un **fenómeno de transferencia de masa** y más precisamente, un **fenómeno de adsorción**. En el sistema “textil inmerso en solución de colorante”, transcurrido el tiempo suficiente, se establecerá un **equilibrio dinámico** en el que el colorante se **repartirá** entre la solución y el textil. Como veremos más adelante no se ajustan exactamente a este modelo los casos en que la fijación del colorante es irreversible, como la tintura de algodón con colorantes reactivos y con colorantes tina

Todos las etapas previas al equilibrio, en las que se deben considerar **velocidades** y **tiempos**, son temas a estudiar bajo la luz de la **cinética química** y se tratarán en el capítulo siguiente. Como sistema químico en **equilibrio dinámico**, en el que no se tiene en cuenta el **tiempo**, el **equilibrio de tintura** debe estudiarse dentro del campo de la **termodinámica**.

A una dada temperatura, las condiciones de equilibrio para un sistema formado por un conjunto de fibras textiles y una solución de colorante se pueden representar por una **curva o isoterma de adsorción**. Cada punto de esas isotermas corresponderá a una concentración de colorante en la fibra textil y a una concentración del mismo colorante en la solución de tintura en equilibrio con la fibra. Para cada punto de equilibrio, la suma de la cantidad de colorante que quedó en solución más el que penetró en la fibra es igual a la cantidad de colorante que estaba presente en la solución, al inicio de la tintura. Dependiendo del **sistema colorante / fibra textil** de que se trate, las condiciones de equilibrio podrán ser representadas por tres tipos diferentes de **isotermas de adsorción: Nerst, Freundlich y Langmuir**.

La **isoterma de Nerst** corresponde a la función lineal $[D]\phi / [D]\sigma = K_1$ ó $[D]\phi = K_1 [D]\sigma$ donde $[D]\phi$ es la concentración en el equilibrio del colorante en la fibra (en p. ej. mol / kg de fibra seca); $[D]\sigma$ es la concentración del colorante en la solución (en p. ej. mol / l de solución) y K_1 el **coeficiente de reparto** del colorante entre la solución y la fibra (y la pendiente de la recta).

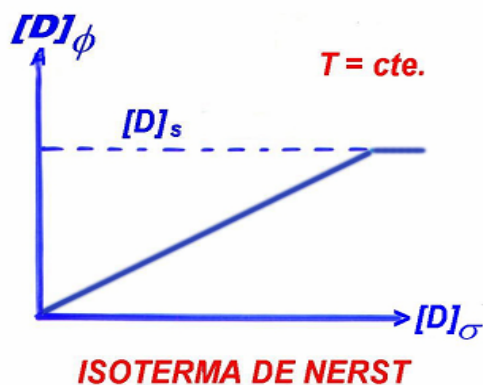


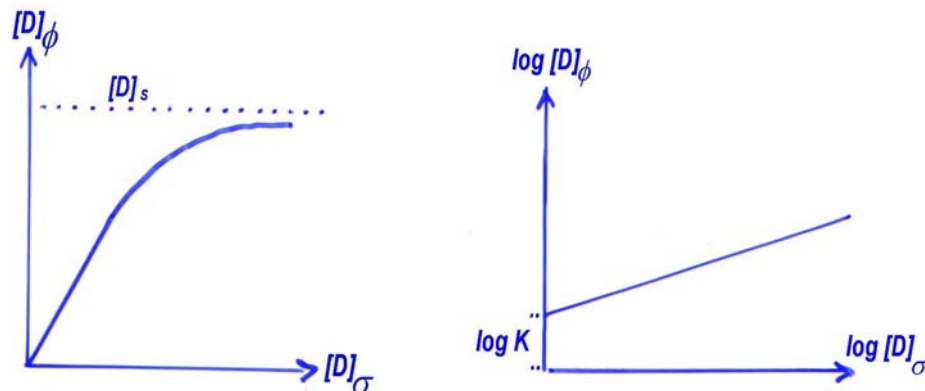
Figura 8.7

A una dada temperatura, **los equilibrios finales de la tintura de, p. ej., el poliéster y el rayón acetato con colorantes dispersos están representados por isotermas de Nerst**. El equilibrio de un gas en fase gaseosa y el mismo gas disuelto en un líquido (*ley de Henry*) así como el equilibrio de reparto de un soluto entre dos solventes no miscibles también pueden ser representados por isotermas de Nerst (Figura 8.7).

La **isoterma de Freundlich** corresponde a una función del tipo $[D]\phi / ([D]\sigma)^x = K_2$ ó $[D]\phi = K_2 ([D]\sigma)^x$ donde x es un exponente empírico (*sin significación teórica*) característico del sistema considerado, y cuyos valores oscilan generalmente entre **0.5** y **0.8**, según las fibras y colorantes

que formen el sistema. Como x es menor que 1 la isoterma tendrá forma de una **parábola** que tiende a un valor determinado sin alcanzarlo nunca. Cuando $x = 1$ estamos en el caso de una **isoterma de Nerst**. En general, a altas concentraciones la isoterma no es representativa de la realidad y, a bajas concentraciones muestra un comportamiento lineal. Si tomamos logaritmos tendremos, $\log [D]_{\phi} = \log K_2 + x \log ([D]_{\sigma})$ y la isoterma tomará forma de recta de la que x , la pendiente, y K_2 podrán calcularse gráficamente.

El equilibrio final a una dada temperatura de, p.ej., **la tintura del algodón con colorantes directos está representado por una isoterma de Freundlich**. También el equilibrio de adsorción entre carbón activado y diversas sustancias en solución esta representado por una isoterma de Freundlich



Figuras 8.8 y 8.9 - ISOTERMAS DE FREUNDLICH

Cuando el colorante o la sustancia adsorbida se fija en lugares determinados de la fibra que, al ser ocupados totalmente, la dejan saturada (como es el caso de la tintura de poliamida con colorantes ácidos y de la tintura de fibra acrílica con colorantes catiónicos), se aplica un tercer tipo de isoterma: la **isoterma de Langmuir**.

La expresión correspondiente a la *isoterma de Langmuir* se deduce de consideraciones cinéticas. Si suponemos al colorante **entrando** a la fibra a una velocidad $d[D]_{\phi} / dt$ proporcional a: **1)** la concentración del colorante en solución $[D]_{\sigma}$ y **2)** la cantidad de sitios disponibles de la fibra $[D]_s - [D]_{\phi}$ (siendo $[D]_s$ la concentración de saturación del colorante en la fibra y que se puede considerar un valor constante), tendremos:

$$+ d[D]_{\phi} / dt = k_1 [D]_{\sigma} \cdot ([D]_s - [D]_{\phi}) \quad (t = \text{tiempo})$$

La velocidad del colorante **saliendo** de la fibra será a su vez proporcional a $[D]_{\phi}$:

$$- d[D]_{\phi} / dt = k_2 [D]_{\phi}$$

Como en el equilibrio las velocidades de entrada y de salida son iguales:

$$[D]_{\phi} = k_3 [D]_{\sigma} \cdot ([D]_s - [D]_{\phi})$$

$$[D]_{\phi} = k_3 [D]_{\sigma} [D]_s - k_3 [D]_{\sigma} [D]_{\phi}$$

$$[D]_{\phi} \cdot (1 + k_3 [D]_{\sigma}) = k_3 [D]_{\sigma} [D]_s$$

$$\boxed{[D]_{\phi} = k_3 [D]_{\sigma} \cdot [D]_s / (1 + k_3 [D]_{\sigma})}$$

La representación gráfica de esta última expresión es una curva donde $[D]\phi$ tiende (y casi prácticamente alcanza) al valor **constante** límite de saturación $[D]s$ (a diferencia de la isoterma de Freundlich, en la que se tiende al valor de saturación pero no se le alcanza nunca) (Figura 8.10). Si en esta expresión hacemos algunas transformaciones obtendremos otras cuyas representaciones gráficas (Figs.8.11 y 8.12) son muy convenientes para el cálculo de K_3 y de $[D]s$

$$1/[D]\phi = (1 + k_3[D]\sigma) / (k_3[D]\sigma \cdot [D]s) \quad (\text{tomando la inversa})$$

$$1/[D]\phi = (1/k_3[D]s \cdot [D]\sigma) + (1/[D]s) \quad (\text{reagrupando la expresión anterior})$$

$$[D]\sigma/[D]\phi = 1/k_3[D]s + ([D]\sigma/[D]s) \quad (\text{multipl. la expresión anterior por } [D]\sigma)$$



Para $[D]\sigma = \infty$; $[D]\phi = [D]s$

Figuras 8.10, 8.11 y 8.12

2.1.2- Agotamiento en el equilibrio

Las **isotermas de adsorción** permiten estudiar comparativamente la influencia de la temperatura, el pH, la concentración de electrolitos, etc. en el comportamiento tintóreo de una familia o grupo de colorantes. Además, permiten determinar K , el “**coeficiente de reparto**” o pendiente en cada punto de la curva y por tanto calcular el **agotamiento** de la solución o “**baño**” de tintura **en el equilibrio**. El agotamiento del colorante **en el equilibrio**, E_∞ , será:

$$E_\infty = [D]\phi / ([D]\phi + [D]\sigma \cdot L)$$

Donde L es la “**relación de baño**” o **volúmen de la solución de tintura por unidad de peso de la fibra o material textil** que se está tiñendo ¹, en p.ej **litros /kg**.. Si dividimos el numerador y el denominador de la última expresión por $[D]\sigma$, y considerando que se cumple la isoterma más sencilla o **isoterma de Nerst** ($[D]\phi/[D]\sigma = K_1$), tendremos:

$$E_\infty = ([D]\phi/[D]\sigma) / ([D]\phi/[D]\sigma + L) = K / (K + L)$$

Es decir que el agotamiento en el equilibrio, para una sistema de tintura que cumpla con la **isoterma de Nerst**, podrá ser calculado con la simple expresión: $E_\infty = K / (K + L)$. La figura siguiente nos muestra la variación de E_∞ vs. $\log K/L$:

¹ Si $[D]\phi$ se expresa en p. ej., **mol / kg de fibra seca** y $[D]\sigma$ en p. ej., **mol / litro de solución**, L expresado en **litros por kg** opera como un factor de homogenización de unidades, ya que $[D]\sigma \cdot L$ quedaría también expresado en **mol / kg de fibra seca**

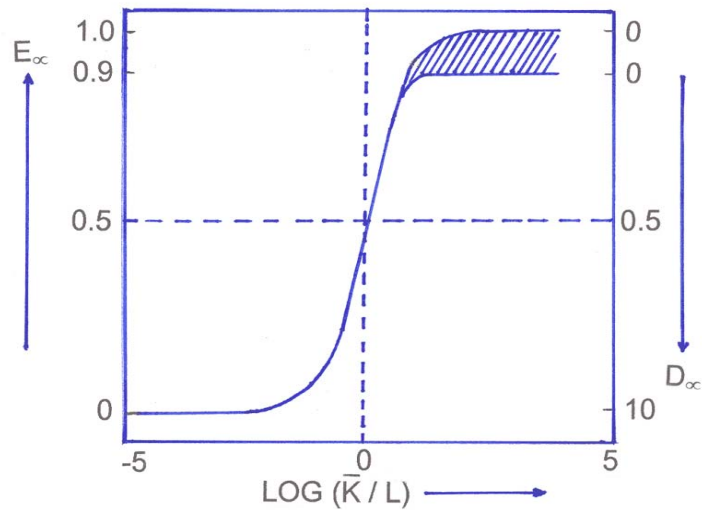


Figura 8.13

Si $L = K$, $\log K / L = \log 1 = 0$ y tendremos $E_\infty = 0,5$. Es decir que si determinamos el agotamiento al 50 % podemos determinar K y a la inversa, conocido K podemos determinar el agotamiento de “*media tintura*”. La disminución de la “*relación de baño*” L tiene el mismo efecto que aumentar K y, en ambos casos E_∞ tiende a un máximo que es 1 ó 100%.

2.1.3- Compatibilidad de dos colorantes

Para que dos colorantes A y B agoten sobre una fibra o material textil resultando un color de mezcla igualado, se debe cumplir que: $E_{\infty A} = E_{\infty B}$ ó que $E_{\infty A B} = E_{\infty A} / E_{\infty B} = 1$. En la figura siguiente la tendencia de los colorantes A y B a ser adsorbidos en forma diferente por la fibra a partir de una solución de tintura única es indicada por un “*factor de separación*” $\alpha_{AB} = K_A / K_B$

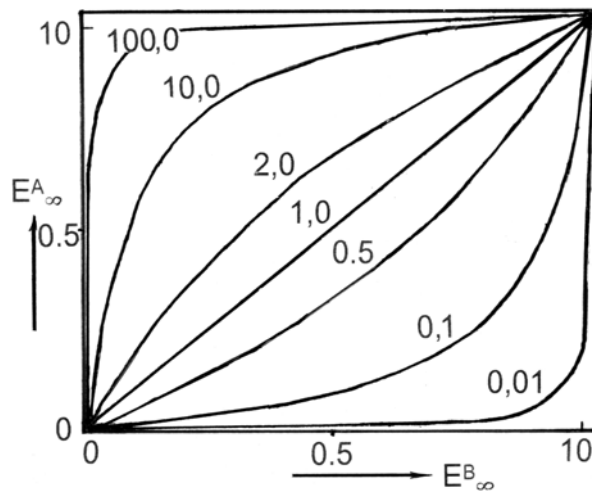


Figura 8.14

Si los dos colorantes tienen el mismo K , tendremos que $\alpha_{AB} = 1$ y $E_{\infty A}$ vs. $E_{\infty B}$ será una línea recta y ambos colorantes agotarán juntos. En la medida que K_A y K_B sean diferentes, α_{AB} será menor o mayor que 1 y se obtendrán curvas como las que muestra la figura. Si se observa atentamente se ve que los problemas de compatibilidad y de igualación de tintura de dos colorantes de muy distintos K , son mayores a bajos agotamientos que a altos agotamientos.

2.1.4- Determinación experimental del equilibrio de tintura

No es fácil determinar experimentalmente el momento en que la tintura llega al equilibrio. Si queremos aumentar la velocidad de tintura aumentando excesivamente la temperatura o el tiempo de contacto, se puede correr el riesgo de una descomposición del colorante o alteración del textil.

En el laboratorio se pueden seguir diversos procedimientos pero uno de los más aceptables es colocar en un matraz cantidades conocidas (*en volumen y concentración*) de la solución colorante así como un peso conocido del textil. Luego se coloca dicho matraz en un baño termostático (*para mantener una temperatura de tintura constante*), con un refrigerante de reflujo (*para que el volumen de la solución de tintura no varíe*) y con buena agitación (*p.ej. con un agitador magnético*). Si la relación de baño es del orden de **5 / 1** a **100 / 1** ("**baño finito**") podemos determinar la concentración del colorante en la solución antes y después del teñido (*hasta que se obtengan valores constantes*). Si la relación de baño es mucho mayor a **100/1** ("**baño infinito**") se debe necesariamente determinar la concentración final de colorante en la fibra, pues la concentración de la solución se mantendrá prácticamente constante antes y después de la tintura.

La concentración del colorante en la **solución de tintura** generalmente se determina por espectrofotometría directa (*siempre que no haya un cambio de tono final por degradación parcial del colorante*). Por otra parte, la concentración de colorante en la **fibra** se puede determinar: **1)** por extracción del colorante con solventes apropiados ó **2)** por disolución de la fibra, también con solventes apropiados, para luego medir espectrofotométricamente la concentración de colorante.

2.1.5- Afinidad de Tintura

En un **sistema cerrado**, es decir de **masa constante** y de **composición definida**, el cambio de cualquier **propiedad termodinámica extensiva G**, será debido a un cambio en el **estado del sistema** y no a la adición o sustracción de materia del sistema.

$$G = f(T, P, n_1, n_2, \dots, n_i, \dots)$$

donde **T** es temperatura, **P** presión y **n₁, n₂, n_i**, son las cantidades de moles de los componentes **1, 2, i**. En **sistemas cerrados heterogéneos** consistentes en *dos o más fases* puede convenir considerar **subsistemas abiertos**, en los que puede variar la composición y la masa. En estos casos es muy útil el concepto de **propiedad molar parcial ∂G**:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{P, n_1, n_2, \dots, n_i, \dots} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_{T, n_1, n_2, \dots, n_i, \dots} dP + \left(\frac{\partial G}{\partial n_1}\right)_{P, T, n_2, \dots, n_i, \dots} dn_1 + \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{P, T, n_1, n_2, \dots} dn_i$$

La derivada parcial

$$\left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T, P, n_1, n_2, \dots}$$

se denomina **propiedad molar parcial** para el componente **i** y se representa:

$$\bar{G}_i$$

La **propiedad molar parcial** (G_i *techo*) correspondiente a un dado *componente particular* en un *sistema* constituido por un conjunto de componentes (*una mezcla*), debe ser considerada como el *incremento* de la propiedad G del *sistema*, resultante de la adición, a temperatura y presión constante, de un mol de dicho *componente particular* a una cantidad tan grande del *sistema* que la composición de este permanece virtualmente invariable. O dicho de otra forma, la **propiedad molar parcial** (G_i *techo*) de cualquier *componente* se puede considerar como la contribución de un mol de dicho *componente* al valor total de la propiedad G del *sistema* a temperatura constante, presión constante y concentración (*de los demás componentes*) constante.

Se debe tener en cuenta que G es una **propiedad extensiva** y en cambio (G_i *techo*) es una **propiedad intensiva**, es decir que no depende de la *cantidad de materia* que constituye el *sistema*, sino únicamente de la *composición* del sistema, a una temperatura y presión dadas.

Si la propiedad termodinámica G en consideración es la **energía libre** F tendremos que, la **energía libre molar parcial para el componente i** (F_i *techo*) o **potencial químico molar de Gibbs** o simplemente el **potencial químico μ_i para el componente i** , de un sistema será:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial n_i}\right)_{T, P, n_i} = \bar{F}_i = \mu_i$$

Para un sistema abierto

$$dF = \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_{P, n_1, n_2, \dots, n_i, \dots} dT + \left(\frac{\partial F}{\partial P}\right)_{T, n_1, n_2, \dots, n_i, \dots} dP + \left(\frac{\partial F}{\partial n_1}\right)_{P, T, n_2, \dots, n_i, \dots} dn_1 + \left(\frac{\partial F}{\partial n_i}\right)_{P, T, n_1, \dots, n_i} dn_i$$

A presión y temperatura constante tendremos:

$$\partial F_{T, P} = \mu_1 \partial n_1 + \mu_2 \partial n_2 + \dots + \mu_i \partial n_i$$

Y para un sistema cerrado en equilibrio:

$$\partial F_{T, P} = \sum \mu_i \partial n_i = 0$$

Si el **sistema cerrado en equilibrio** consta de varias fases, cada fase puede ser considerada como un sistema abierto ya que puede haber intercambio de materia entre ellas. En cada fase, la variación de **energía libre** F para un cambio pequeño a T y P constante, viene dada por la penúltima ecuación, mientras que para el total del sistema cerrado, por la última ecuación.

Se demuestra que cuando un sistema formado por varias fases (*que contienen diversos componentes*) está en equilibrio a una temperatura y presión definida, el **potencial químico de cada componente será el mismo en todas las fases, si bien las concentraciones de los componentes pueden ser diferentes** (*sistemas heterogéneos*).

Si las fases del sistema no están en equilibrio, los potenciales químicos de los componentes serán distintos en cada fase. Aquellos componentes con potencial químico más elevado en una fase, tenderán a pasar espontáneamente a la fase en la que tengan un potencial químico menor, hasta que los valores se igualen entre las fases y se llegue al equilibrio. Es importante tener en cuenta que si bien, en el **equilibrio de tintura**, los **potenciales químicos** del colorante en solución (*fase líquida*) y en la fibra textil (*fase sólida*) **son iguales**, no ocurre lo mismo con sus **concentraciones**. Las concentraciones en cada fase serán aquellas que correspondan a la respectiva **isoterma de adsorción**.

2.1.5.1- La Regla de las Fases

La *Regla de las Fases* establece la relación existente entre la cantidad de **fases P** y **componentes C** en **equilibrio** en un **sistema**, y la cantidad de variables o "**grados de libertad**" **L** , que se deben indicar para definir completamente el sistema:

$$L = C - P + 2$$

En una tintura textil existen dos fases: una sólida (el textil) y otra líquida (la solución colorante), por tanto $P = 2$. Los componentes serán tres: fibra textil, agua y colorante. Por tanto los grados de libertad serán tres: temperatura, presión y concentración.

$$L = 3 - 2 + 2 = 3$$

2.1.5.2- Dependencia de la Energía Libre con respecto a la Presión y la Temperatura

$$F = H - TS \quad F = U + PV - TS$$

Donde **H** es entalpía, **U** energía interna y **S** entropía. En general, para un cambio:

$$dF = dU + PdV + VdP - TdS - SdT$$

Si el proceso es reversible,

$$TdS = \delta q \quad y \quad PdV = \delta w$$

Donde **q** es cantidad de calor y **w** es trabajo. Como según la primera Ley de la Termodinámica:

$$dU - \delta q + \delta w = 0$$

$$dF = VdP - SdT$$

Si la presión es cte., $dF = -SdT$; si la temperatura es cte., $dF = VdP$ que integrando da:

$$F_1 - F_2 = \int_{P_1}^{P_2} VdP = nRT \int_{P_1}^{P_2} dP/P = nRT \ln P_2/P_1$$

2.1.5.3- Solutos en soluciones diluidas

El comportamiento esperado para un soluto (no electrolito) en una solución diluida es que obedezca la Ley de Henry:

$$P = kC$$

que relaciona la presión de vapor **P** del soluto con la concentración del soluto por medio de una constante empírica **k** . Por tanto la energía libre de un soluto a una concentración **C_2** comparada con otra **C_1** será

$$F_2 - F_1 = RT \ln P_2/P_1 = RT \ln C_2/C_1$$

Si tomamos como estado de referencia o estado "estándar" la concentración molar unidad, $C_0 = 1$, tendremos:

$$F = F^\circ + RT \ln C/C_0 \quad \text{ó} \quad F = F^\circ + RT \ln C$$

En soluciones reales, y especialmente cuando el soluto es un electrolito, las desviaciones pueden ser grandes y se deben tomar **actividades** en lugar de **concentraciones**:

$$F = F^\circ + RT \ln a$$

y para la **energía libre molar parcial** o **potencial químico**: $\mu = \mu^\circ + RT \ln a$

2.1.5.4- Afinidad instantánea y standard

El potencial químico del colorante en la fibra será:

$$\mu_{\phi} = \mu_{\phi}^{\circ} + RT \ln a_{\phi}$$

y en la solución o baño de tintura:

$$\mu_{\sigma} = \mu_{\sigma}^{\circ} + RT \ln a_{\sigma}$$

y la diferencia entre ambas:

$$\Delta\mu = \mu_{\phi} - \mu_{\sigma} = \mu_{\phi}^{\circ} - \mu_{\sigma}^{\circ} + RT \ln a_{\phi} / a_{\sigma}$$

y finalmente

$$\Delta\mu = \Delta\mu^{\circ} + RT \ln a_{\phi} / a_{\sigma}$$

La diferencia de potencial, $\Delta\mu$, o **diferencia de potencial químico instantánea**, varía con el tiempo y disminuye hasta hacerse cero cuando se alcanza el equilibrio de tintura. La diferencia de potencial, $\Delta\mu$, representa a la **afinidad instantánea**, o **afinidad en cada instante de tiempo** del colorante por la fibra. En el equilibrio tendremos que $\Delta F = 0$ y $\Delta\mu = 0$ y, por tanto:

$$-\Delta\mu^{\circ} = RT \ln (a_{\phi} / a_{\sigma})_{eq} = RT \ln K$$

donde **K** es la constante de reparto en el equilibrio:

$$K = (a_{\phi} / a_{\sigma})_{eq} = e^{-\Delta\mu^{\circ} / RT}$$

$-\Delta\mu^{\circ}$ es la **afinidad "standard" o patrón** y mide la tendencia del colorante de moverse de su estado **patrón** en solución a su estado **patrón** en la fibra y es por tanto **una medida cuantitativa de la afinidad del colorante por la fibra**.

El proceso de **adsorción** da como resultado un estado más estable y por tanto va acompañado de una disminución de la **energía libre** del sistema. El aumento del valor absoluto de $-\Delta\mu^{\circ}$ indica el aumento de la **afinidad** y el signo de menos, la correspondiente disminución de la **energía libre** del sistema. La afinidad $-\Delta\mu^{\circ}$ no solo depende de la temperatura sino también de la presión (*en general, las tinturas se realizan a presión constante, ya sea a presión atmosférica o a altas presiones*).

Con las **isotermas de adsorción** podemos estimar la afinidad de un colorante por una fibra, en cambio con los valores de $-\Delta\mu^{\circ}$ tenemos una medida cuantitativa de la misma. Con los valores de afinidad $-\Delta\mu^{\circ}$ de diversos colorantes (en p.ej. Kcal/mol), se pueden hacer tablas comparativas que son muy útiles a la hora de seleccionar el colorante más apropiado para la tintura de un determinado artículo. Dichas tablas nos permiten prever y comparar las **solideces húmedas** de una familia de colorantes sobre una dada fibra textil².

Para determinar $-\Delta\mu^{\circ}$ es necesario conocer la **actividad a** del colorante tanto en fase líquida (baño de tintura) como en fase sólida (*fibra*). Si consideramos soluciones diluidas es posible sustituir actividades por concentraciones. A partir de la expresión básica que define la afinidad de un colorante por una fibra textil:

$$-\Delta\mu^{\circ} = RT \ln (a_{\phi} / a_{\sigma})_{eq} = RT \ln K,$$

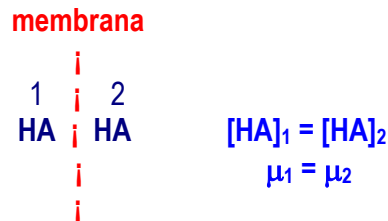
se pueden desarrollar diferentes expresiones específicas para cada modelo de mecanismo de tintura: 1) para el modelo que supone solución sólida del colorante *no dissociado* (*no electrolito*) en la fibra (*p.ej. tintura de poliéster con colorantes dispersos*); 2) para la adsorción en *sitios*

² El término "afinidad" a veces es usado laxamente por el tintorero al referirse a una serie de fenómenos como la "velocidad de tintura", el "agotamiento en el equilibrio", etc., que si bien están relacionados con la afinidad, no son lo mismo.

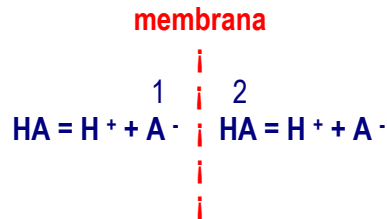
no específicos de la fibra, o *adsorción difusa*, del colorante *disociado* (p.ej. *tintura de algodón con colorantes directos*) y, 3) para la adsorción en *sitios específicos* de la fibra, del colorante *disociado* (p.ej. *tintura de poliamida con colorantes ácidos o tintura de acrílico con colorantes catiónicos*). El desarrollo de estas expresiones y de otras que contemplan diversas variantes del fenómeno de adsorción (no solo de colorantes sobre fibras textiles sino también, p.ej., de colorantes sobre carbón activado) pueden estudiarse en la bibliografía indicada al final de este capítulo.

2.1.6- Potencial de membrana

1) Supongamos una **solución diluida** de una sustancia (**HA**), **no electrolito**, de bajo peso molecular, y que está separada en dos partes por una **membrana semipermeable**. Por ser de bajo peso molecular la sustancia difunde libremente a través de la membrana y en el equilibrio tendremos:



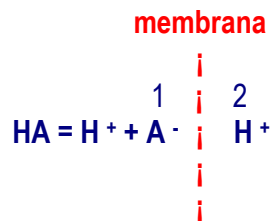
2) Supongamos ahora una solución diluida de una sustancia, **electrolito**, también de bajo peso molecular y que pasa libremente a través de la membrana, tanto en su forma disociada como no disociada:



En este caso el potencial químico para los grupos HA, en ambos lados de la membrana, será : $\mu_{\text{HA}} = \mu_{\text{HA}}^\circ + RT \ln [\text{HA}]$, y para la forma disociada: $\mu_{\text{disociada}} = \mu_{\text{disociada}}^\circ + RT \ln [\text{H}^+] [\text{A}^-]$. En el equilibrio: $\mu_{\text{HA}} = \mu_{\text{disociada}}$, entonces:

$$\begin{aligned}
 -\Delta\mu^\circ &= RT \ln ([\text{H}^+] [\text{A}^-] / [\text{HA}]) \\
 [\text{H}^+] [\text{A}^-] / [\text{HA}] &= e^{-\Delta\mu^\circ / RT}
 \end{aligned}$$

3) Supongamos ahora una sustancia **electrolito**, de alto peso molecular *cuyo anión, por su tamaño, no atraviesa la membrana*:



Siempre que algunos H^+ pasan a través de la membrana, se establecerá una **diferencia de potencial Ψ** (efecto *Donnan*). La concentración desigual $[\text{H}^+]_1 \neq [\text{H}^+]_2$ en ambos lados hace que $\mu_1 \neq \mu_2$. Para que haya equilibrio, esa **diferencia de potencial químico** (energía libre molar parcial) debe ser compensada con la **diferencia de energía eléctrica ΨF** . Del lado 1 de la membrana, entonces:

$$\mu_{\text{disociada}} = \mu_{\text{disociada}}^{\circ} + RT \ln [H^{+}] [A^{-}]$$

$$\mu_{\text{HA}} = \mu_{\text{HA}}^{\circ} + RT \ln [HA] + \Psi F$$

y entonces en el equilibrio: $[H^{+}] [A^{-}] / [HA] = e^{(-\Delta\mu^{\circ} - \Psi F) / RT}$

Ψ es negativo y actúa impidiendo que más H^{+} pasen al lado 2 de la membrana. La *energía eléctrica* ΨF estará expresada, p.ej., en julios si el potencial eléctrico Ψ se expresa en voltios y la cantidad de electricidad F en faradays.

Un colorante aniónico se disociará en un **anión colorante de gran tamaño (D^{-})** y en **cationes** de pequeño tamaño (p.ej. Na^{+}). Si de un lado de la membrana disolvemos este colorante y del otro una sal (como p.ej. $NaCl$), el anión colorante, por su tamaño, no pasará la membrana y quedará inmovilizado a un lado. Al establecerse un equilibrio se generará un **potencial eléctrico de membrana** o **efecto Donnan** :



Un caso similar ocurriría con los colorantes catiónicos, si el catión colorante, por su tamaño, no pasa a través de la membrana.

Para que se produzca un **potencial de membrana** o **efecto Donnan** no es necesario que exista una membrana semi permeable *real*. En un sistema heterogéneo, como es el caso de una fibra textil inmersa en una solución colorante, el ión inmovilizado puede formar parte de la fase sólida insoluble. Esto ocurre p.ej. en la lana con los grupos $R - NH^{+}$ y $R - COO^{-}$, en el acrílico con los grupos $R - COO^{-}$ y en el algodón mercerizado con los grupos $R - O^{-}$. El **efecto Donnan** también puede producirse cuando un ión de gran tamaño es fijado por fuerzas de Van der Waals a la superficie de la fase sólida de un sistema heterogéneo: tal es el caso de la tintura de algodón con colorantes directos, en la que el anión colorante, de gran tamaño, se fija a la superficie de la fibra.

En el fenómeno de tintura textil, se puede suponer que la **variación del potencial de membrana**, desde la superficie de la fibra hacia el seno de la solución colorante, está toda contenida en una "**doble capa**". En esta "**doble capa**" el potencial de membrana variaría desde su valor máximo a un valor mínimo (*Figura 8.15*). Los valores por debajo de este valor mínimo se pueden considerar despreciables (*se estima que el espesor de la doble capa tiene aproximadamente las dimensiones de una molécula de agua*).

Para que un **ión colorante** pueda acercarse y luego ser adsorbido, debe recibir una **energía de activación**, ΔE , que le permita superar la barrera representada por el **potencial de membrana** (*Figura 8.16*). Esa energía deberá ser tanto mayor cuanto mayor sea el potencial de la fibra y/o la carga del ión colorante. La **energía de activación** que necesita el colorante para vencer esta barrera puede disminuirse por el agregado de sales o electrolitos fuertes cuyos iones actúan creando un efecto "pantalla" o de "nube" eléctrica que disminuye el potencial o "barrera" de la fibra, esto permite que el ion colorante "suba" a la fibra más fácilmente. El agregado de $NaCl$ ó Na_2SO_4 en el teñido del algodón con colorantes directos se hace justamente con este propósito.

La **energía potencial del colorante**, una vez que este es adsorbido por la fibra, será menor a la que tenía en el seno de la solución, lejos de la doble capa, en un valor ΔH que es igual al **calor de tintura**.

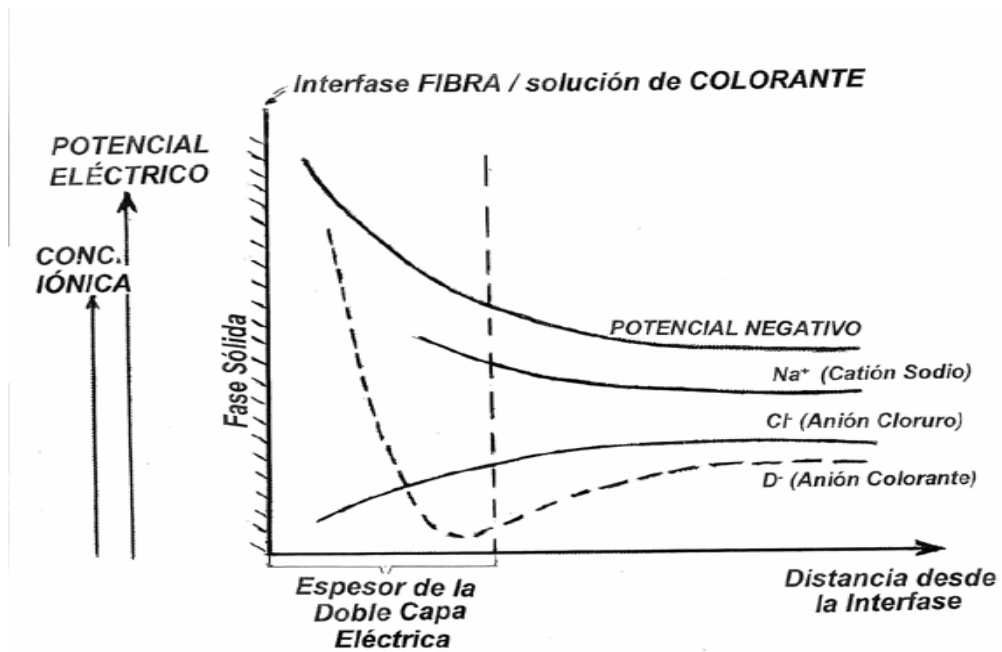


Figura 8.15

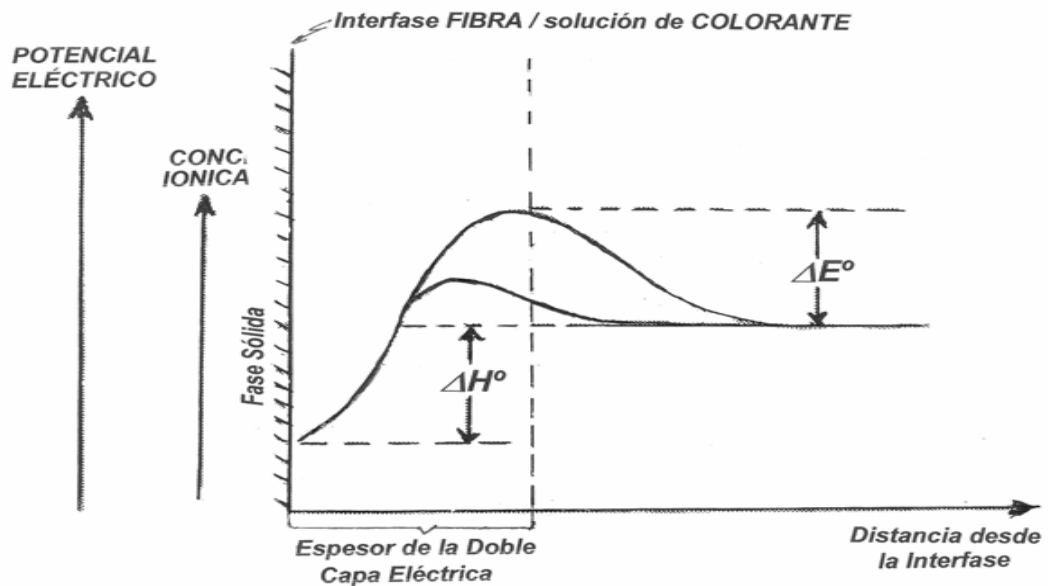


Figura 8.16

TABLA 8.5
MECANISMOS DE TINTURA DE LAS PRINCIPALES FIBRAS TEXTILES

FIBRA	Tipo de colorante	Tipo de unión (*)	Tipo de isoterma en el equilibrio	Presencia de potencial de membrana
ALGODÓN, VISCOSA	Directos	1, 2, (3)	Freundlich	+
	Reactivos	1, 5	(**)	+
	Tina, Sulfuro, Azoicos	1,7	(**)	+
LANA, SEDA, POLIAMIDAS	Acidos	1,2,4	Langmuir	+
	Cromatables	1 (5), (6), 7	(**)	+
ACETATO, POLIAMIDAS	Dispersos	(1), 3	Nerst	-
POLIÉSTER	Dispersos	(1), 2, 3	Nerst	-
ACRÍLICO	Catiónicos	(1), 2, 3	Langmuir	+

(*) Tipo de Unión: 1- Adsorción en la interfase, 2- Fuerzas de Van der Waals, 3- Enlace de hidrógeno, 4- Enlace iónico, 5- Enlace covalente, 6- Enlace covalente dativo, 7- Retención mecánica. (**) No hay equilibrio: unión irreversible.

2.1.7- Calor de Tintura

La afinidad $\Delta\mu^\circ$ ha sido definida como la diferencia entre el potencial químico standard de una sustancia en dos fases distintas de un dado sistema heterogéneo:

$$\Delta\mu^\circ = RT \ln(a_1 / a_2)$$

Como el potencial químico es **energía libre molar parcial** también tendremos:

$$\Delta\mu^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

donde ΔH° , o "**calor molar diferencial standard de tintura**", es el aumento de **entalpía** o **calor liberado** cuando una pequeña cantidad (δn moles) de colorante es transferida desde un gran volumen de **solución de colorante** (en la que el colorante está en estado standard) a una gran **masa de fibra teñida** (en la que el colorante también está en estado standard). El volumen de la solución de colorante y la masa de fibra son teóricamente tan grandes que la transferencia de δn moles de colorante hace despreciable el cambio de concentraciones en ambas fases. El "**calor molar diferencial standard de tintura**" ΔH° representa **la diferencia de energía** entre los enlaces o uniones rotas en la solución, entre la molécula de colorante y las moléculas de agua que le rodean (**enlaces hidrógeno**) y los enlaces o uniones que se formen entre el colorante y la fibra que se está tiñendo (Figura 8.17).

En los sistemas fibra/colorante, ΔH° mide el calor liberado por el sistema y la tintura será siempre un proceso **exotérmico**. A mayor calor liberado (**altos valores de ΔH°**), mayor será la afinidad del colorante por la fibra. Si en cambio **introducimos calor**, es decir si **calentamos** el

sistema, **la afinidad del colorante por la fibra disminuirá**³. Esta disminución de la afinidad del colorante con el aumento de temperatura se apreciará al trazar juntas varias **isotermas de adsorción**: las correspondientes al equilibrio a **temperaturas más altas** estarán por debajo de las correspondientes al equilibrio a **temperaturas más bajas**.

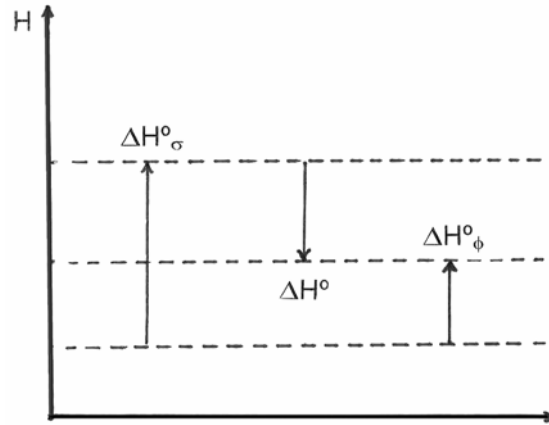


Figura 8.17

Al absorberse colorante dentro de la fibra el orden de la fase sólida aumenta y su entropía S disminuirá, pues el colorante se integra al orden preexistente del polímero que forma la fibra. Sin embargo, **en todo el sistema** la entropía aumentará, pues se libera calor y la tintura será un fenómeno espontáneo que tiende a un equilibrio.

Si suponemos ΔH° constante e independiente de T , la función $\Delta\mu^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ tendría la siguiente representación gráfica:

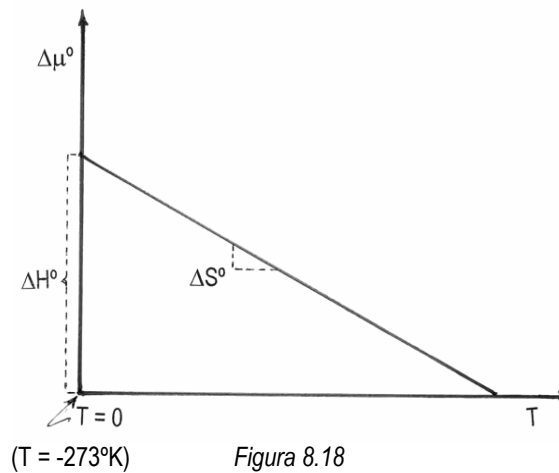


Figura 8.18

En la *Figura 8.18*, ΔS° es la pendiente y $\Delta\mu^\circ$ y ΔH° serán máximas cuando $T = 0$ (es decir, en el cero absoluto -273 K).

Por otra parte sabemos que el coeficiente de reparto k viene dado por la expresión $k = e^{-\Delta\mu^\circ/RT}$ y por tanto (*cambiando el signo*) tenemos la expresión:

³ En la tintorería industrial en general, se calienta para teñir con el fin de disminuir los tiempos de tintura. Esto está motivado por la cinética de la tintura y no por los aspectos termodinámicos del equilibrio final, que son los que se están tratando en este capítulo.

$$\ln k = \Delta\mu^\circ / RT = -\Delta H^\circ / RT + \Delta S^\circ / R$$

que, si seguimos suponiendo que ΔH° es independiente de T , la podemos representar de la siguiente forma:

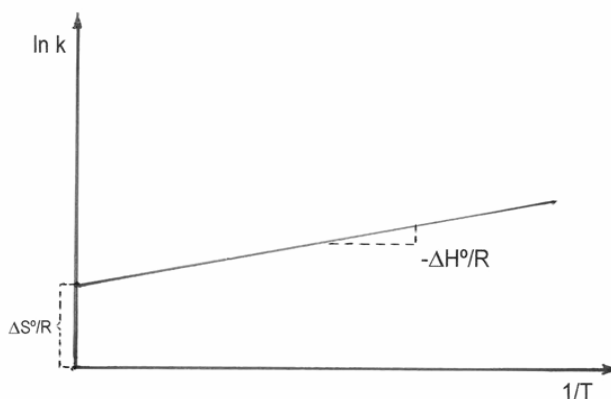


Figura 8.19

Cuando T aumente, $\Delta H^\circ / RT$ disminuirá y $\ln k$ se aproximará a $\Delta S^\circ / R$. A temperaturas (T) altas, la energía cinética de las moléculas de colorantes es también alta y la energía de unión colorante/fibra (representada por ΔH°) se hace menos significativa y ΔS° determina el estado de equilibrio. El cambio entrópico ΔS° es entonces una medida de aquella parte de la afinidad correspondiente a la probabilidad de encuentro entre las moléculas del colorante con las de la fibra, solo por el movimiento de agitación térmica al azar de las moléculas de colorante. Resumiendo podríamos decir que ΔH° controla el equilibrio a bajas temperaturas y ΔS° a altas temperaturas.

Como k puede hallarse experimentalmente con las isothermas de adsorción, trazando el gráfico $\ln k$ vs. $1/T$ puedo determinar ΔH° , ΔS° y $\Delta\mu^\circ$ lo que puede ser de gran utilidad cuando se desee estudiar el comportamiento tintóreo de una familia de colorantes con respecto a una dada fibra.

TABLA 8.6							
EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA AFINIDAD POR EL RAYON CUPROAMONICAL DE ALGUNOS COLORANTES DIRECTOS							
Colorante Directo	- $\Delta\mu^\circ$ (en kcal/mol ⁻¹ a diversas temperaturas en °C)					- ΔH°	- ΔS°
	60	70	80	90	100	en kcal/mol ⁻¹	Cal K ⁻¹ mol ⁻¹
Amarillo 12	3,8	3,35	3,2	2,8	-	14	31
Amarillo 46	6,0	5,3	4,2	3,8	-	31	73
Rojo 25	5,7	5,4	4,8	4,3	-	20	43
Rojo 81	3,8	3,6	3,4	3,2	-	10	21

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "The Theory of Coloration of Textiles", 2nd. Edition. Edited by Alan Johnson. Published by the Society of Dyers and Colourist, England, 1989.
- 2- "Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles", J.Cegarra, P.Puente, J.Valldeperas. E.T.S.I.I. Terrassa, Universidad Politécnica de Cataluña, 1981.
- 3- "Termodinámica para Químicos", S.Glasstone, Aguilar 1958

2.2.0- CINÉTICA DE LA TINTURA

Para el estudio de un *sistema estacionario o en equilibrio*, no se considera la dimensión “**tiempo**”¹. Pero, si introducimos un material textil en una solución de colorante, hasta que no se alcance el *equilibrio de tintura*, estaremos en presencia de un *sistema transiente*, existirá una *velocidad de tintura* y por tanto, se deberá considerar el *tiempo*.

Como ya hemos visto en la **Introducción**, el proceso de teñido se puede dividir en cuatro etapas: **1)** difusión de las partículas de colorante (*moléculas o iones*) desde el seno de la solución de tintura a la superficie de la fibra, **2)** adsorción de las partículas colorantes en la superficie de la fibra, **3)** difusión de las partículas colorantes desde la superficie al interior de la fibra y, **4)** fijación de las partículas colorantes en la estructura molecular de la fibra. La etapa **1)** puede subdividirse a su vez en otras tres: **a)** difusión en la zona hidrodinámica **turbulenta**, **b)** difusión en la zona hidrodinámica **laminar** (“*capa límite hidrodinámica*”, CLH) y **c)** difusión en una zona quieta, muy delgada, sin movimiento o **difusional** pura (“*capa límite difusional*” CLD), ubicada entre la zona laminar y la interfase fibra/solución de tintura (*para un estudio más profundo del fenómeno de difusión molecular consultar textos de Quimicafísica, esp. Leyes de Fick*).

Las velocidades de difusión de las partículas colorantes en cada una de estas zonas son muy distintas: **altas** en la zona turbulenta y **bajas** en las zonas laminar y difusional. La **adsorción** de las partículas colorantes a la superficie de la fibra así como su **fijación** a la estructura interna de la fibra, se pueden considerar que ocurren a velocidades **instantáneas**. Por otra parte, la difusión en fase sólida dentro de la fibra también ocurre a velocidades **bajas** que dependen de la **afinidad** de la partícula colorante por la fibra. Según el sistema fibra/colorante que se considere, el “ *cuello de botella*” de la tintura corresponderá a: **1)** la etapa de difusión de las partículas colorantes en las zonas laminar y difusional de la *fase líquida* y, **2)** la etapa de difusión de las partículas colorantes en la *fase sólida (interior de la fibra)*.

Haciendo un símil con la intensidad de corriente eléctrica, la **velocidad global de tintura v** podríamos expresarla de la siguiente forma: $v = - \Delta\mu / R$, donde $\Delta\mu$ es la diferencia de potencial químico instantáneo y R la resistencia a la tintura. La resistencia R de tintura dependerá principalmente de:

- 1) la **agitación** de la solución colorante o “baño de tintura”,
- 2) la **temperatura T** del baño de tintura,
- 3) el **pH** del baño de tintura,
- 4) la **concentración de electrolitos** del baño de tintura,
- 5) la **relación de baño L** ,
- 6) el **área de interfase** entre el textil y la solución colorante,
- 7) la **afinidad** del colorante por la fibra,
- 8) la **higroscopicidad** del material textil,
- 9) la **relación de cristalinidad / amorficidad** del polímero,
- 10) la **microestructura** de la fibra como p.ej. la presencia de cutícula, fibrillas, microfibrillas, etc., como ocurre en el caso de las fibras naturales

Si bien no en todos los casos las partículas colorantes se unen químicamente a la fibra, la tintura textil podría asimilarse a una **reacción química de primer orden**. Si consideramos al colorante en el baño (σ) como el reactante y al colorante en la fibra textil (ϕ) como el producto resultante, la temperatura T y la relación de baño RB constantes, tendremos:

¹Debe recordarse que el **equilibrio de tintura** es un **equilibrio dinámico**, en el que las **velocidades de adsorción y desorción molecular** son iguales, y por tanto a ese nivel **estadística molecular**, la **cinética** y la dimensión “**tiempo**” está presente de todas maneras.

$$- \partial C_{\sigma t} / \partial t = k ([D]_{\phi} - C_{\phi t}) \quad \text{ó}$$

$$+ \partial C_{\phi t} / \partial t = k ([D]_{\phi} - C_{\phi t})$$

donde $C_{\sigma t}$ es la concentración del colorante en la **solución** de tintura en cualquier instante t , $C_{\phi t}$ es la concentración del colorante en la **fibra** en cualquier instante t y $[D]_{\phi}$ es la concentración del colorante en la fibra textil **al alcanzarse el equilibrio** y k la constante de velocidad que tiene las dimensiones de una recíproca de tiempo.

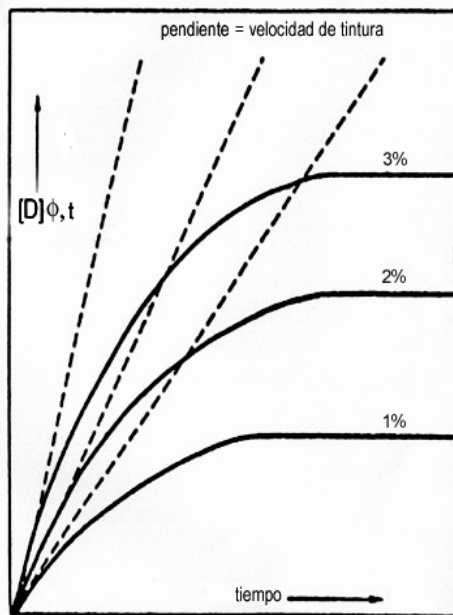


Figura 8.20
CURVAS CINÉTICAS
(isotermas de agotamiento)

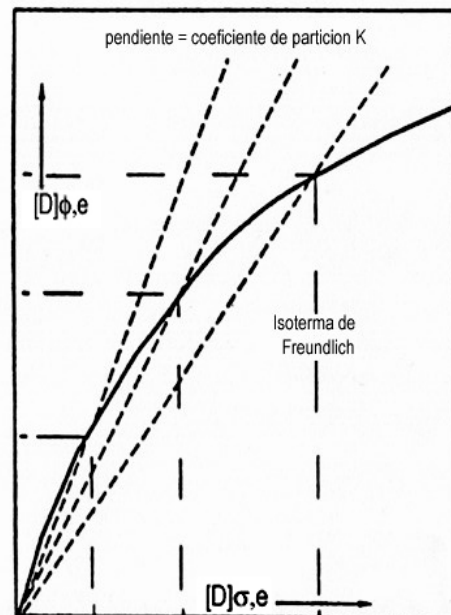


Figura 8.21
CURVA DE EQUILIBRIO
(isoterma de adsorción)

A mayores velocidades de tintura mayores serán las pendientes (k) de las **isotermas de agotamiento**. Habrá una curva para cada concentración inicial de la solución de tintura ($C_{\sigma 1}$, $C_{\sigma 2}$, $C_{\sigma 3}$, etc.). Si tanto la concentración inicial del colorante como la relación de baño son muy altas ("baño infinito"), C_{σ} se puede considerar constante.

Cuando la **isoterma de agotamiento** se hace horizontal (*pendiente* $k = \text{cero}$), la velocidad de tintura se hace igual a cero ($\partial C_{\phi t} / \partial t = 0$) y se alcanza el **equilibrio**, es decir la concentración del colorante en la fibra corresponde a un punto en la **curva de equilibrio**.

Observando las isotermas de la Figura 8.20 se aprecia que a **menor concentración inicial del colorante en el "baño"**, menor es el tiempo necesario para alcanzar la concentración de equilibrio. O dicho de otro modo, menor el tiempo necesario para alcanzar el agotamiento máximo posible a esa dada temperatura.

Si se trazan juntas varias **isotermas de agotamiento**, de un mismo colorante, vemos que las correspondientes a **temperaturas más bajas** alcanzan el equilibrio con **mayores concentraciones de colorante en la fibra**, si bien más lentamente (Figura 8.22). Esto es así porque la **afinidad del colorante por la fibra disminuye** con la **temperatura**. En cambio, la **velocidad de tintura aumenta** con la **temperatura** (debido principalmente al aumento de los

coeficientes de difusión de las partículas colorantes). Por ej. en la figura 8.22, si el colorante llega al equilibrio de adsorción a 40°C en un tiempo **OD** excesivamente largo, será **más económico** teñir a 100°C, durante un tiempo **OA** mucho más corto, aunque la cantidad de colorante adsorbido por la fibra, al alcanzarse el equilibrio final a 100°C, fuese menor.

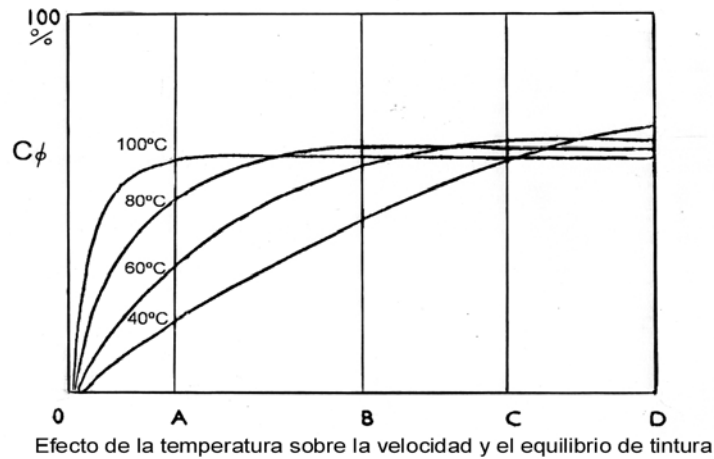


Figura 8.22

Como en la tintorería industrial los teñidos se comienzan generalmente a temperatura ambiente y se terminan a temperaturas cercanas a los 100°C, o aún mayores como en el caso de la tinte de PES, al tintorero, más que disponer de las **isotermas de agotamiento**, le resulta más práctico disponer de **“curvas de subida del colorante”**. Estas se obtienen - para una dada concentración inicial del “baño de tinte” ($C\sigma$) - estableciendo su **% de agotamiento** en función de la **temperatura** (Figura 8.23). En general, este tipo de curvas es suministrado en los **catálogos** de las firmas proveedoras de colorantes.

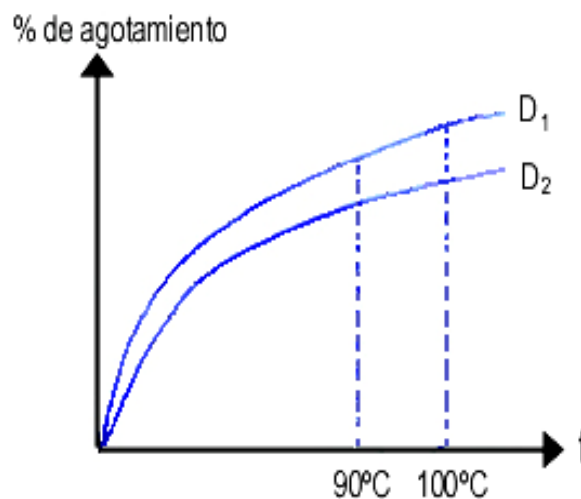


Figura 8.23

Para un **tiempo** de tinte suficientemente corto o “económico”, y manteniendo constante las condiciones de agitación, relación de “baño”, etc., se considerará como mejor aquel colorante que a una dada temperatura **“agote”** más. En el gráfico anterior el colorante D_1 sería el de mayor agotamiento.

Al asimilarse la tinte textil a una reacción de **primer orden** podemos considerar la existencia de un **tiempo de media tinte** que no dependerá de la concentración inicial del colorante en

solución C_0 (a $t = 0$). Como al equilibrio se llega gradualmente, el **tiempo** para alcanzarlo no es fácil de determinar y por ello es útil el **tiempo de media tintura**, que se define como el tiempo que se requiere para que la fibra adsorba la mitad del colorante que absorbería en el equilibrio, a una dada **temperatura** y una dada C_0 inicial. En la figura siguiente se muestran dos colorantes con el mismo “**tiempo de media tintura**” pero diferente “**agotamiento en el equilibrio**”. Por tanto, para que el “**tiempo de media tintura**” sirva para comparar el comportamiento de diferentes colorantes debe ir siempre acompañado del dato de la “**concentración en el equilibrio**” o del “**% de agotamiento en el equilibrio**” (Figura 8.24).

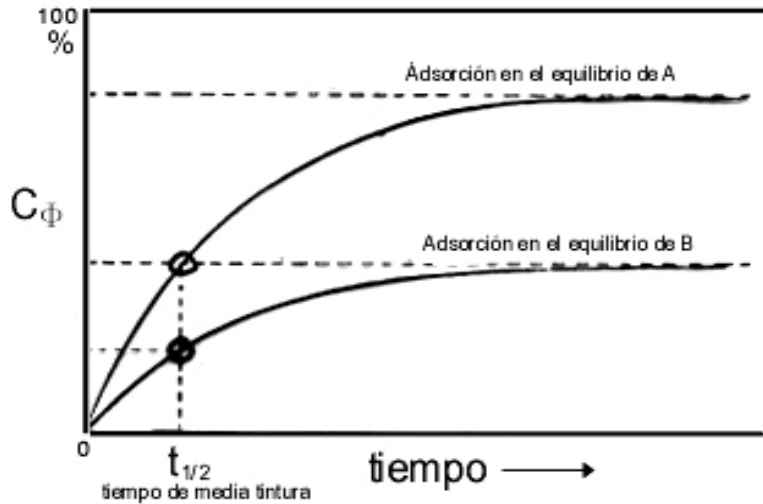


Figura 8.24

En una reacción de primer orden la velocidad de reacción es directamente proporcional a la concentración de la sustancia reaccionante (C):

$$-\frac{dC}{dt} = kC$$

La constante k es una cantidad positiva y tiene las dimensiones de recíproca de tiempo (s^{-1}). El signo negativo que antecede a la ecuación indica que C disminuye con el tiempo y, más estrictamente, que la velocidad de reacción se va haciendo menor con el transcurso del tiempo. Si integramos la expresión anterior, tendremos:

$$-\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = k \int_0^t dt$$

$$-\ln \frac{C}{C_0} = \ln \frac{C_0}{C} = kt$$

$$\log \frac{C_0}{C} = \frac{kt}{2.303}$$

$$\log C = \log C_0 - \frac{kt}{2.303}$$

Entonces, una reacción será de primer orden si $\log C_0/C$ ó $\log C$ vs. t da una línea recta y la pendiente de esta línea recta nos dará el valor de la constante de velocidad k . El tiempo $t_{1/2}$

necesario para que la concentración de la sustancia reaccionante se reduzca a la mitad de su valor inicial, es decir para que $C = 1/2 C_0$, será:

$$t_{1/2} = (2.303 / k) \log 2 = 0.693 / k$$

Es evidente entonces que, en una reacción de primer orden, $t_{1/2}$ es una **constante** independiente de la concentración inicial de la sustancia reaccionante. Es decir tomará el mismo tiempo reducir la cantidad inicial de reactante de 1 mol a 0.5 mol **en un dado volumen**, que reducirlo de 0.01 a 0.005 mol, **en el mismo volumen** (Para un tratamiento más profundo sobre el orden y la molecularidad de las reacciones químicas remitimos al estudiante a textos de Cinética Química).

2.2.1- "IGUALACIÓN" vs. "SOLIDEZ"

En la tintorería industrial existen dos requerimientos de calidad que son antagónicos: la necesidad de lograr una buena "**igualación**" del color y al mismo tiempo asegurar buenas "**solideces húmedas**" para los artículos textiles teñidos.

Con los colorantes de **alta afinidad**, en general, se obtienen buenos % de agotamiento y, como se fijan más firmemente sobre la fibra, permiten obtener tinturas de **buenas solideces húmedas** (como p.ej., entre otras, buena resistencia al lavado). Sin embargo estos colorantes al difundir dentro de la fibra ocupan los primeros lugares que encuentran libres, dificultando la difusión de las partículas colorantes que vienen detrás, con lo que pueden resultar tinturas de color desparejo o "**mal igualadas**"². En este caso *la velocidad de tintura está controlada por la difusión de la partícula colorante en la fase sólida o interior de la fibra.*

Con los colorantes de **baja afinidad** pasa lo contrario: se puede obtener con ellos tinturas **mejor igualadas** pero de **bajas solideces húmedas**. El % de agotamiento en el baño de tintura es, la mayoría de las veces, bajo y por tanto se desperdicia colorante en los baños residuales, lo que crea problemas de contaminación del medio ambiente a menos que en el efluente de la tintorería se realicen tratamientos, generalmente de alto costo. *La velocidad de tintura, en este caso, está controlada por la difusión de la partícula colorante a través de las capas límites laminar y/o difusional.*

Los colorantes de **baja afinidad** o de **buena igualación** se utilizan, en general, para la tintura de artículos de mucho valor agregado como *tela en pieza* y *prendas ya confeccionadas* para minimizar el riesgo de obtener una mala igualación del color en productos caros que no admiten, en general, reprocesos. Se utilizan también en la tintura de tela a la continua o "**por impregnación**", para evitar las diferencias de color "cabeza-cola" que se producen cuando se usan colorantes de alta afinidad (*salvo que estos se utilicen con retardantes en un proceso más costoso*). Las solideces húmedas de los colorantes de **baja afinidad** se pueden mejorar a veces con post-tratamientos con resinas u otros agentes de fijación.

Por otra parte, con los colorantes de **alta afinidad** se pueden obtener tinturas aceptablemente igualadas simplemente controlando adecuadamente el proceso de tintura o empleando productos químicos auxiliares que promuevan su igualación. Esto se logra p.ej. con **agentes igualizantes** que demoran la subida del colorante, ya sea compitiendo por los lugares libres en la fibra o formando complejos con el colorante. Actualmente con algunos de estos productos es posible lograr un buen compromiso entre solideces húmedas e igualación de color, además de tiempos cortos de tintura con buena reproducibilidad y economía.

² En estas condiciones, a veces, se forman tinturas "anulares" que, sin embargo, no presentan un aspecto de mala "igualación".

Otra forma de lograr buena igualación con colorantes de alta afinidad es utilizando procedimientos de tintura de **dosificación y agitación controlada**. Conocido el parámetro que controla en mayor medida la tintura, como p.ej. la temperatura, el pH, la concentración de electrolito, agentes reductores u oxidantes, etc. este parámetro se aumenta o dosifica lentamente tratando de se produzca un agotamiento del **1 %** de colorante por **ciclo de contacto** (o algo más del **1%** como en el caso de tintura de "floc"). Un **ciclo de contacto** o simplemente un "**contacto**", corresponde a cada vez que el **volumen total de la solución o "baño" de tintura entra en contacto con el volumen total del textil**. El **tiempo** para que tenga lugar un "**contacto**" dependerá del **tipo e intensidad de agitación** de la solución o "baño" de tintura.

La experiencia indica que en general **se obtienen tinturas igualadas al cabo de 100 ciclos de contactos** si se agota en forma controlada a razón del 1% por ciclo. Es importante entender que **el concepto práctico de velocidad de tintura** cambia al reconocerse como más importante el **% de agotamiento por ciclo de contacto** que el **% de agotamiento por minuto**. Naturalmente, también importa la cantidad de **contactos por minuto** que se pueden lograr con cada máquina de tintura.

TABLA 8.7

EQUIPO DE TINTURA	CONTACTOS POR MINUTO
Barca	0,7-1,0
Autoclave	1,0
"Jigger"	8,0
"Jet "	A determinar según el tipo de máquina

Se debe tener en cuenta que, en general, hay un límite a la cantidad de ciclos de **contacto por minuto** (y a la inversión del sentido del flujo del baño de tintura) debido a la resistencia mecánica del textil, su tendencia a deformarse, etc.

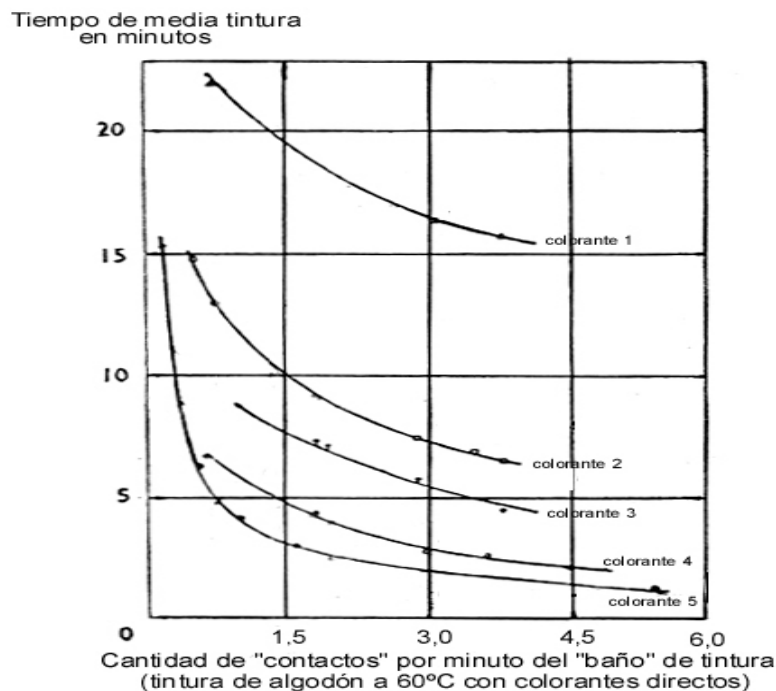


Figura 8.25

BIBLIOGRAFÍA

- 1- *“The Theory of Coloration of Textiles”, 2nd. Edition. Edited by Alan Johnson. Published by the Society of Dyers and Colourist, England, 1989.*
- 2- *“Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles”, J.Cegarra, P.Puente, J.Valdeperas. E.T.S.I.I. Terrassa, Universidad Politécnica de Cataluña, 1981.*

3.0.0- LOS COLORANTES

Desde los tiempos más remotos el hombre se ha sentido interesado y atraído por el color, utilizando diversos materiales para colorear representaciones del mundo que le rodeaba. La pintura de animales y escenas de caza en las cuevas prehistóricas, la evolución de la pintura artística, la decoración de objetos cerámicos, la coloración de los textiles, la moderna industria gráfica, etc., son algunos ejemplos de la importancia que el color ha tenido en la vida y en el desarrollo cultural de la Humanidad.

Hasta 1856, año en que se produce el primer colorante sintético, todas las materias colorantes se extraían de los minerales, plantas o animales que los contenían. El uso de pigmentos minerales en las pinturas rupestres se remonta a aproximadamente 60.000 años AC. Los óxidos de hierro ocres y el negro de humo dispersados en grasa animal eran los colores más utilizados para ese fin.

Se estima que recién en el Neolítico se comienzan a usar extractos de hojas, flores y frutos para teñir. En la Antigüedad el color azul se obtenía principalmente de dos plantas: una originaria de la India, el **índigo** (*Indigofera tinctoria*) y la otra de Europa, el **glasto** (*Isatis tinctoria*). Ambas contienen un glucósido incoloro, el **indicán**, formado por indoxilo y glucosa. El indicán al oxidarse con el aire genera un colorante azul. Se estima que el índigo rinde aproximadamente veinte veces más colorante que el glasto. También se conocía un colorante púrpura, obtenido de un molusco, el *murex brandaris*, que se encontraba en las costas del actual Líbano. Con él se teñían las capas de los emperadores romanos, por lo que se le conocía como **"púrpura imperial"**.

Los extractos de cortezas, hojas, semillas y frutos ricos en **ácido tánico**, se utilizaron inicialmente para teñir de negro y luego también de amarillo, rojo y marrón, tratando previamente el textil con sales metálicas o **"mordientes"**. Es sorprendente comprobar que, a pesar de su relativa complejidad, este método de tinción se conocía ya en épocas muy tempranas. Un ejemplo es la raíz de la *Rubia* o *Granza* (*Rubia tinctoria*), que contiene el colorante **"mordentable"** **alizarina** con el que se obtenían rojos, púrpuras y marrones, y que fue muy utilizada en Europa desde comienzos de la Edad media o antes. Otro ejemplo es una madera que se traía de Java y Ceilán que por su color rojo como "brasa" se llamó **"palo brasil"**. El extracto de esta madera, según el metal utilizado para "mordentar", producía diversos tonos de rojos y marrones.

En el siglo XV al descubrirse nuevas rutas marítimas se pudo disponer de una mayor cantidad y variedad de colorantes naturales. Algunos ejemplos son el **cachú** o **cachunde**, extraído de las hojas de un árbol originario de la India; la **cochinilla** mexicana, colorante carmín extraído de insectos; la **morina** brasileña o **"fustic nuevo"** (*Morus tinctoria*); el **"palo campeche"** de Yucatán, México; el **"quercitrón"** (*Quercus velutina*) extraído de la corteza del roble negro del sur de USA; etc. En el 1500 el portugués Pedro Cabral al llegar a las costas de Sudamérica y encontró gran cantidad de árboles de **"palo brasil"** y entonces esta madera le dio el nombre al nuevo país que se estaba descubriendo. En el Cuadro que aparece más abajo se da un resumen de algunos de los colorantes naturales de mayor importancia histórica.

En el siglo XIII, en las ricas ciudades comerciales de Italia existían ya **corporaciones** o **guildas** de tintoreros pero recién en el siglo XVII estas organizaciones se habían generalizado en casi toda Europa. En general era de dos tipos: las que agrupaban a los **"tintoreros de colores finos"** que se ocupaban de teñir telas caras, y las que agrupaban a los **"tintoreros comunes"**, que teñían sólo telas baratas. Los tintoreros de seda, en general, si bien tenían ciertos contactos entre ellos, se mantenían al margen de estas corporaciones.

Los “*tintoreros de colores finos*” debían teñir con colores “firmes” y entre los colorantes que utilizaban estaba el índigo y el glasto para los azules, la rubia (*alizarina*), la cochinilla y el quermes para los rojos y el sumaque o fustete para los amarillos. Los tonos de azules y rojos brillantes que se obtenían con estos colorantes no podían obtenerse con ninguno de los otros conocidos. Los “*tintoreros comunes*” teñían en cambio prendas sin mayores exigencias de solidez al lavado y a la luz utilizando palo campeche para gris y negro, palo brasil para los rojos, etc.

TABLA 8.8 - ALGUNOS COLORANTES NATURALES

NOMBRE ESPAÑOL	NOMBRE INGLÉS	NOMBRE CIENTÍFICO	REGIÓN DE ORIGEN
ÍNDIGO o AÑIL	INDIGO	Indigofera tinctoria	India
GLASTO	WOAD	Isatis tinctoria	Europa
PÚRPURA	PURPLE	Murex brandaris (*)	Costas de Líbano
RUBIA o GRANZA	MADDER	Rubia Tinctorum	India, Asia Menor
COCHINILLA	COCHINEAL	Dactilophus coccus (**)	México
QUERMES	KERMES	Coccus ilicis (**)	Siria, Líbano
PALO CAMPECHE	LOGWOOD	Haematoxilon campechanum	México, C. América
PALO BRASIL	REDWOOD	Caesalpinia braziliensis	Java, Ceilón, Brasil
SUMAQUE	FUSTIC (old)	Rhus cotinus	Europa, Asia Menor
MORINA	FUSTIC (young)	Chlorofora tinctoria	Centro América
GUALDA	WELD	Reseda lutiola L	Europa, Asia
CACHÚ o CACHUNDE	CLUTCH	Acacia catechú	India, Malasia
AZAFRÁN	SAFFRON	Crocus sativus L	Grecia, Asia Menor
CÁRTAMO	SAFFLOWER	Carthamus tinctoria	Irán, Irak
QUERCITRON	QUERCITRON	Quercus velutina	USA
ANATO o ACHIOTE	ANNATO	Bixa orellana	Ecuador, Perú, Brasil

(*) caracol marino (**) insectos

Muchos extractos vegetales (*), ricos en **taninos** (**), son conocidos como colorantes naturales “**mordentables**”. Para obtener un color negro, el proceso de “mordentado” consiste en impregnar el textil con una solución de **sulfato ferroso** y luego con una solución de soda cáustica. En presencia de oxígeno del aire, el hidróxido ferroso formado pasa a hidróxido férrico. Finalmente el textil se impregna con el **extracto vegetal** y sobre las fibras precipita **tanato férrico**, insoluble y de color negro (***). Esta reacción es relativamente lenta pues es inhibida por el ácido sulfúrico que se libera. A veces conviene agregar un reductor suave, como la glucosa, para evitar una oxidación prematura. Es también posible seguir el camino inverso impregnando primero con el extracto vegetal, luego con la solución de sulfato ferroso y la de soda cáustica para finalmente, oxidar al aire. Utilizando sales metálicas de aluminio, estaño, cobre, etc., según sea el extracto vegetal empleado, se obtienen tinturas de otros colores diferentes al negro. Los colorantes mordentables se utilizaron también extensamente en estampación, para lo cual se debía impregnar previamente la tela en una solución de sales metálicas “mordientes” y luego estampar con pastas con el extracto vegetal.

La tintura con colorantes mordentables naturales produce un aumento del peso final del textil. Este aumento de peso es especialmente interesante en la tintura de **seda** ya que cuando esta es desgomada se remueve la sericina y se produce una notable reducción en su peso final. Tiñendo con colorantes mordentables se puede compensar esta pérdida y aún ganar más peso sin disminución de brillo ni elasticidad. La seda tratada de esta forma (“seda recargada”) es más fácil de trabajar en tejeduría, pues no se adquiere electricidad estática, y las telas poseen un tacto “lleno” y una mejor “caída” (ver Vol I, Cap.02, Sección 285, Seda)

(*) Extractos de cortezas de roble, de hojas y madera de acacias, de semillas y frutos diversos, etc. Ejemplos: el cachú, el sumaque, el palo brasil, el palo campeche, etc. (ver Cuadro anterior).

(**) Los taninos son, en general, de dos tipos: 1) ésteres del ácido gálico y 2) condensados como p.ej. del tipo de la catequina.

(***) Tradicionalmente la tinta negra para escritura, conteniendo también tanato de hierro, se preparaba por un procedimiento similar.

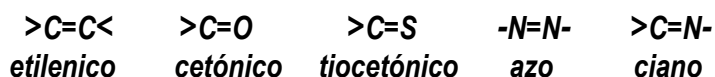
En **1856**, **William Perkins**, un estudiante de química de 18 años, tratando de sintetizar **quinina** (la única droga que en esa época podía aliviar la **malaria**) obtuvo un producto completamente distinto. Perkins oxidó **anilina**, un producto obtenido de la destilación de la hulla, con **bicromato de potasio** y **ácido sulfúrico diluido**, y obtuvo una solución de un colorante violeta, al que llamó **mauveína**, y que resultó ser muy apropiado para la tintura de seda. Obtuvo también un precipitado negro, a partir del que luego se desarrollaron los "**negros anilina**". Al poco tiempo, Perkins instaló, con la ayuda de su padre y hermano, una fábrica para producir **mauveína** o **malveína**, a la que, en pocos años, siguieron otros colorantes sintéticos, tanto o más exitosos.

Con estos descubrimientos se inicia el vertiginoso desarrollo de la **industria de los colorantes sintéticos**. En un mundo que había dependido solamente de **colorantes naturales** relativamente escasos, la aparición de los colorantes sintéticos fue una revolución que cambió por completo los estándares de belleza. Al mismo tiempo la **química orgánica** avanzó enormemente y la síntesis del **índigo** y la **alizarina**, colorantes naturales conocidos y apreciados desde la Antigüedad, fueron pasos importantes en este sentido. Con este impulso nacieron también otras industrias que se desarrollan vigorosamente: la industria **farmacéutica**, la de **pesticidas** agrícolas, la de los materiales **plásticos**, etc. Al **alquitrán de hulla**, como primer y principal fuente de materia prima, se le une pronto el **petróleo**, como fuente complementaria y/o alternativa, desarrollándose así también otra importante industria: la **petroquímica**. Actualmente, con más de 150 años de establecida, la industria de los colorantes sintéticos ofrece una abundante y variada gama de ellos. Paralelamente a este crecimiento, se han ido desarrollado técnicas capaces de impartir colores atractivos, durables y brillantes a prácticamente todo tipo de materiales.

Un colorante podría ser definido, en forma general, como **una sustancia capaz de ser aplicada - en soluciones o dispersiones acuosas o no acuosas - a diversos sustratos** que pueden ser metales, mampostería, madera, papel, textiles, cuero, pieles, pelos, ceras, plásticos, cosméticos, alimentos, etc.

Los **colorantes insolubles**, tanto en agua como en solventes no acuosos, que no difunden dentro del sustrato sino que se fijan a la superficie del mismo, se conocen como **pigmentos**. Las dispersiones de pigmentos - tanto acuosas como no acuosas - se utilizan en tintas, lacas, pinturas y esmaltes así como también en la coloración **en masa** de plásticos, gomas, resinas y algunas fibras artificiales y sintéticas.

Los colorantes poseen color porque absorben determinadas longitudes de ondas del espectro visible. El color del colorante será entonces el resultante de la mezcla de las longitudes de onda no absorbidas o complementarias de las absorbidas. En 1868 Graebe y Liebermann observaron que todos los colorantes orgánicos conocidos hasta entonces se decoloraban al ser reducidos y sugirieron que el color debía estar asociado con la condición de **insaturación**. En 1876 Witt llegó a la conclusión que el color era el resultado de la presencia en la molécula del colorante de ciertos grupos de átomos que llamó **cromóforos**, todos ellos insaturados. Por ejemplo:



Cuando estos grupos son introducidos en una molécula que solo absorbe luz en la región ultravioleta del espectro, la nueva molécula pasa a absorber en regiones de más baja frecuencia, generalmente en la región del espectro visible. Así p.ej. el **antraceno** es incoloro pero la **antraquinona**, que resulta de la introducción de dos grupos cetónicos, es de color amarillo. Si en la molécula del **difenilo** que es incolora, se introducen grupos **azo**, el **azobenceno** resultante es amarillo rojizo.

Otros grupos, de carácter débilmente ácido o alcalino, como p.ej. los **hidroxilos (-OH)**, los **aminos (-NH₂)**, los **amino sustituidos**, si bien ellos mismos no producen absorción en el espectro visible, al unirse a una molécula que posee ya uno o varios grupos **cromóforos** (a este conjunto se le llama **cromógeno**) potencian el efecto de los grupos **cromóforos**. Estos grupos potenciadores fueron llamados **auxócromos** por Witt. Como muchas sustancias coloreadas tienen propiedades tintóreas sólo si en su molécula está presente un grupo **auxocromo**, se pensó que estos grupos influían también en la afinidad del colorante por la fibra. Hoy se sabe que **el color de un colorante y su afinidad por una determinada fibra textil son dos cosas independientes y no están relacionadas entre sí.**

En 1871 Nietzki señaló que un aumento del peso molecular por introducción de grupos metilo, fenilo o etoxi o de un átomo de bromo daba como resultado un cambio del color (*esta regla tiene muchas excepciones pero se cumple en general*). H.E.Armstrong, en 1888, sostuvo que, salvo algunos colorantes, el color puede estar asociado a la presencia de un grupo **quinona** o a la forma **quinoida** de la molécula. Hewitt y Mitchel encontraron, en 1907, que en los colorantes **azo** el color cambiaba con la longitud de la cadena y con la alternancia de simples y dobles enlaces (*cadenas conjugadas*).

Actualmente la causa del color de una molécula de colorante se asigna a que la molécula es un sistema en que los electrones oscilan entre dos o más estructuras extremas, a través de una serie de estados intermedios. Las estructuras extremas tienen más estabilidad y menos energía, mientras que los estados intermedios tienen diversos y más altos niveles de energía. La molécula al ser “excitada” por la acción de la luz, aumenta su energía y pasa a niveles intermedios. La diferencia entre estos niveles de energía determina la longitud de onda absorbida y por tanto el color del colorante. Se ha comprobado que si dentro de la molécula existen dos cadenas conjugadas separadas entre sí por ciertos tipos de enlaces saturados que actuarían como barreras al libre flujo de electrones, cada cadena absorbería luz como si fueran moléculas separadas.

La síntesis de los colorantes se realiza a partir de unidades fundamentales o **compuestos primarios** que son modificados por la adición de grupos sustituyentes. El tipo, la cantidad y la distribución relativa de estos grupos sustituyentes determina el carácter del **compuesto intermediario** resultante. La forma en que estos **compuestos intermediarios** pueden combinarse entre sí resulta en la estructura final de la molécula del colorante. La forma y tamaño de esta molécula, el tipo y disposición de los **grupos sustituyentes** determinará las propiedades del colorante.

El proceso de síntesis puede variarse para obtener una gran diversidad de estructuras que se adapten también a la **gran diversidad de aplicaciones posibles**. Hoy el color es un atributo necesario en prácticamente todos los artículos que se producen y, además de en la tintura textil, los colorantes se utilizan en pinturas, en tintas gráficas, en barnices cerámicos, etc., etc. Por otra parte, el uso final del artículo determina características y propiedades deseables como solidez a la luz, al lavado, a los agentes químicos, etc., lo que explica la gran cantidad y diversidad de colorantes de los que es necesario disponer actualmente.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Tratado de Química Orgánica, P.Karrer, M.Marin, Barcelona, 1950
- 2- “Review”, Nº 2, 1973, Publicación de Ciba-Geigy
- 3- “Historia de los Pigmentos y Colorantes”. F.Delamare, B.Guineau. Ed. Gallimard, Barcelona 2000

TABLA 8.9 - ALGUNOS COMPUESTOS PRIMARIOS

HIDROCARBUROS	<i>Benceno, Tolueno, Xileno, Naftaleno, Antraceno</i>
FENOLES	<i>Fenol, o-Cresol, m-Cresol, p-Cresol,</i>
SUSTANCIAS NITROGENADAS	<i>Carbazol</i>

TABLA 8.10**ALGUNAS OPERACIONES UNITARIAS PARA OBTENER COMPUESTOS INTERMEDIOS**

PROCESO UNITARIO	AGENTE USADO COMUNMENTE
Oxidación	<i>Oxígeno, ácido nítrico, dicromatos, dióxido de manganeso, hipoclorito de sodio</i>
Reducción	<i>Hidrógeno, sulfuro de sodio, limaduras de hierro.</i>
Nitración	<i>Acido nítrico, mezclas de ácido nítrico con ácido sulfúrico</i>
Hidrólisis	<i>Alcalis, soluciones diluidas de ácido sulfúrico, vapor vivo</i>
Fusión Caústica	<i>Soda y potasa cáustica</i>
Sulfonación	<i>Acido sulfúrico, oleum, ácido clorosulfónico</i>
Carboxilación	<i>Dióxido de carbono</i>
Cloración	<i>Cloro</i>
Bromación	<i>Bromo</i>
Amidación	<i>Amoniaco</i>
Reacción de Friedel-Craft	<i>Halogenuros orgánicos o anhídridos ácidos en presencia de catalizadores</i>

TABLA 8.11- EJEMPLO DE OBTENCIÓN DE UN COMPUESTO INTERMEDIO

COMPUESTO	OPERACIÓN UNITARIA
ANTRACENO	
↓	<i>Oxidación (con ácido nítrico o dicromatos)</i>
ANTRAQUINONA	
↓	<i>Sulfonación (con oleum + oxido de mercurio)</i>
ÁCIDO ANTRAQUINON -1- SULFÓNICO	
↓	<i>Aminación (con amoniaco)</i>
1- AMINOANTRAQUINONA	
↓	<i>Sulfonación (con ácido clorosulfónico)</i>
ÁCIDO 1- AMINOANTRAQUINON – 2 - SULFÓNICO	
↓	<i>Bromación (con bromo)</i>
ÁCIDO 1- AMINO – 4 -BROMOANTRAQUINON- 2 – SULFÓNICO (*)	
<i>(*) Este compuesto intermedio es usado en la producción de alguno de los colorantes azules más sólidos y brillantes</i>	



Fig. 8.26 - "Rubia" de cuya raíz se extrae un colorante rojo (alizarina) utilizado antiguamente para teñir lana.



Fig.8.27 – La cochinilla es un insecto parásito de ciertas plantas y del que también se extrae un colorante rojo que tiñe lana y seda

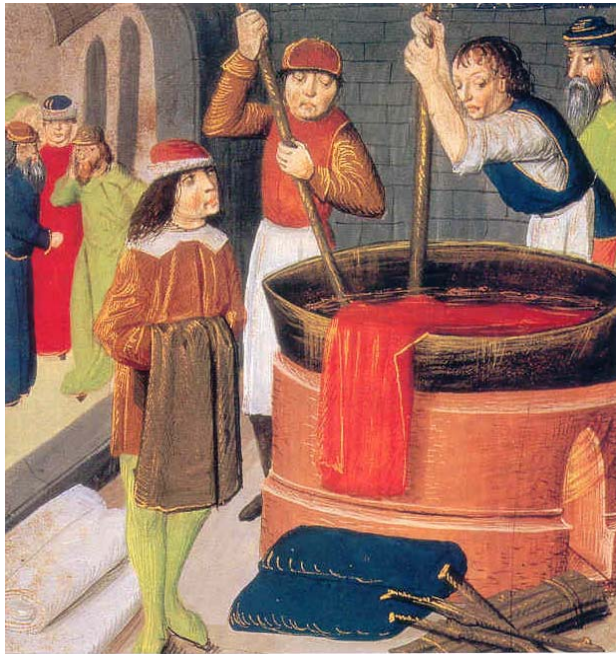


Fig. 8.28- Tintoreros de la Edad Media

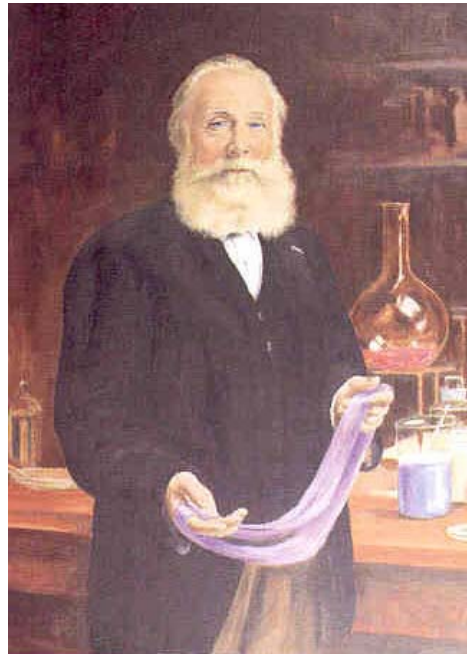


Fig 8..29 - William Perkins obtuvo, en 1856, el primer colorante sintético: la Mauveina

**TABLA 8.9 - EJEMPLO DE RECETA PARA LA TINTURA DE LANA
CON COLORANTES NATURALES DE ORIGEN VEGETAL**

Se impregna la lana en la solución acuosa de la sal metálica a aprox. 40 °C.
Se agrega el extracto acuoso del colorante vegetal y se calienta a 80-90°C de 30 a 60 minutos.
(se puede guardar la lana "mordentada" para ser teñida luego)

		PARTES EN PESO	COLOR OBTENIDO
LANA		100	
Tartrato doble de sodio y potasio (*)		6	
Sal metálica	Sulfato de aluminio (**)	25	rojos
	Sulfato ferroso	3	marrones a negro
	Sulfato de Cobre	2	verdes
Colorante de origen vegetal		Cantidades variables	

(*) Cremor tártaro, (**) Alumbre

3.1.0- CLASIFICACIÓN QUÍMICA DE LOS COLORANTES

La gran cantidad de colorantes de los que se dispone actualmente se podrían clasificar, con un criterio químico estricto, en una treintena de grupos. Sin embargo, es generalmente aceptada una clasificación más sencilla de nueve grupos principales.

3.1.1- Colorantes Azo

Es el grupo más numeroso: constituye el 50 % ó más de todos los colorantes que se producen actualmente. Los hay para teñir todo tipo de fibras, ya sean estas naturales, artificiales y sintéticas. Son relativamente fáciles de producir y aplicar y, en general, sus precios son moderados. Si bien los hay de una gran diversidad de tonos, salvo los amarillos y naranjos, no son muy brillantes. Los primeros colorantes **azo** eran, en general, de bajas solideces húmedas y a la luz pero en las últimas décadas, gracias al esfuerzo en investigación y desarrollo de las grandes firmas productoras, estas propiedades han ido mejorando. Todos los colorantes **azo** contienen el grupo cromóforo – **N = N** – entre dos sistemas aromáticos y se producen en dos etapas: **diazotación** y **copulación**.

Primero se **diazota** una *amina aromática primaria*. La **reacción de diazotación** (Peter Griess, 1858) se realiza tratando la *amina aromática primaria* con un exceso de *ácido* (como p.ej. *ácido clorhídrico*) y *nitrito de sodio* obteniéndose así una **sal de diazonio**. Por ejemplo, tratando de esta manera a la **anilina** se obtiene **cloruro de bencendiazonio**. La mayor parte de las *aminas aromáticas primarias* se comportan de forma similar. Las **sales de diazonio** son, en general, compuestos inestables y muy reactivos por lo que es necesario producirlas y mantenerlas *enfriadas y preservadas de la luz*. Por su *carácter explosivo* las *sales de diazonio* más simples se preparan en solución y se usan inmediatamente. En algunos casos, las de mayor peso molecular pueden ser producidas sin peligro como sales sólidas estables.

La propiedad más importante de las **sales de diazonio** es la de combinarse (o “**copularse**”) fácilmente con los **fenoles**, en *solución alcalina*, para formar moléculas **colorantes**. Así el **cloruro de bencendiazonio** se *copula* con el **fenol** para dar **p-hidroxi-azobenceno**, una sustancia amarilla, insoluble en agua, sin mayor aplicación práctica. Sin embargo si el **cloruro de bencendiazonio** se *copula* con **β -naftol** se obtiene un colorante insoluble en agua, de color naranja, apto para colorear aceites, grasas, ceras y barnices. En cambio, si el **ácido sulfanílico** es diazotado y luego *copulado* con **β -naftol** se obtiene un colorante **soluble en agua**, conocido como Naranja II, apto para la tintura de lana.

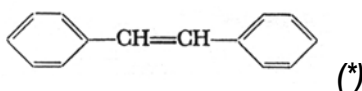
Las **sales de diazonio** pueden también *copularse* con **aminas aromáticas** obteniéndose compuestos **aminoazos** que pueden **re-diazotarse** y luego volver a *copularse* con otras **aminas** o **fenoles** para obtenerse compuestos **disazo** y sucesivamente **trisazo**, **tetrazo**, etc., etc. Generalmente, sin embargo, los colorantes no contienen más de cuatro grupos **azo** en su molécula. Al aumentar los grupos **azo** en la molécula, *el color se cambia* en las series del amarillo, naranja, rojo, violeta, azul y verde. Si el aumento de grupos **azo** conjugados es excesivo se obtienen tonos cada vez más apagados. Los colorantes **monoazo**, de bajo peso molecular y con grupos ácidos solubilizantes, son aptos para la tintura de lana (*con buena igualdad pero malas solideces húmedas*) utilizándose también alguno de ellos para la producción de pigmentos. Los colorantes **disazo** (y también algunos **poliazos**), de mayor peso molecular, se utilizan preferentemente para la tintura del algodón pero muchos de ellos, también para la tintura de lana (*ver “Procedimientos de Tintura”*). A muchos colorantes **azo** (o de otro tipo) que presentan grupos solubilizantes sulfónicos, o grupos ácidos de otro tipo, se les utiliza para la tintura de **lana**, **seda** y **poliamidas** y se les

denomina genéricamente “**colorantes ácidos**”. Esta denominación corresponde más al hecho de que **tiñen la lana en medio ácido** más que a la presencia de grupos ácidos en sus moléculas ya que estos grupos, muchas veces bajo la forma de sales sódicas, pueden estar presentes también en otros tipos de colorantes (como p.ej. los “directos”).

Algunos colorantes **azo** insolubles se pueden *copular* directamente dentro de la fibra de algodón (ver **Colorantes Azoicos** en el Capítulo de Tintura de Algodón). En el Color Index los dos componentes que entran en esa reacción se clasifican como “*Azoic Diazo Compunds*” and “*Azoic Coupling Compounds*”. Como los derivados del **naftol** son el 75% o más de los *compuestos de copulación* que se utilizan normalmente a estos *compuestos de copulación*, a veces, se les llama genéricamente “**Naftoles**”.

3.1.2- Colorantes azo-estilbeno

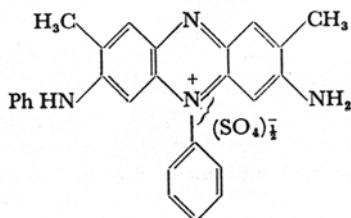
Aunque la gran mayoría de los colorantes **azo** se hacen por diazotación y posterior copulación, como vimos en la sección anterior, hay otros métodos por los que pueden obtenerse. Uno de estos es utilizado en la producción de los colorantes **azo-estilbeno** llamados así pues todos contienen el grupo estilbeno:



En general el intermediario de partida para la síntesis de estos colorantes es el **ácido 4-nitrotolueno-2-sulfónico**, un compuesto en el que el grupo metilo está activado por los otros dos grupos electronegativos. Calentando este compuesto con soda cáustica se produce la oxidación del grupo metilo a expensas del grupo nitro, obteniéndose un colorante amarillo que consiste en *una mezcla de derivados del estilbeno* conteniendo grupos **azo** y **azo oxidados** (o **azoxi**). A este procedimiento básico se le pueden introducir muchas variantes obteniéndose colorantes con diferentes propiedades según el fabricante que los produzca. Los colorantes de este grupo son aptos para la tintura del algodón y el rayón viscosa obteniéndose tonos brillantes y de buenas solidesces a costos relativamente bajos.

3.1.3- Colorantes básicos

Como ya fue mencionado en el capítulo anterior, la industria de los colorantes sintéticos comenzó con el descubrimiento, en **1856**, por **William Perkins**, de un colorante básico, la **mauveína**. Perkins, después de un intento fallido de preparar **quinina** por oxidación de **alil-toluidina**, procedió a oxidar una muestra de **anilina cruda** que contenía **orto** y **para-toluidina** como impurezas. Luego, de la mezcla de los productos resultantes, separó una pequeña cantidad de un colorante violáceo al que, años después, se le clasificó como perteneciente al grupo de las **azinas** y se le asignó la siguiente estructura:

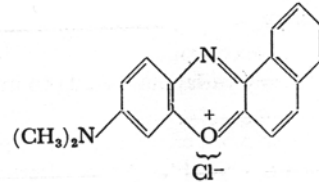


(*) En todas las fórmulas se ha optado por la representación antigua o clásica del núcleo bencénico

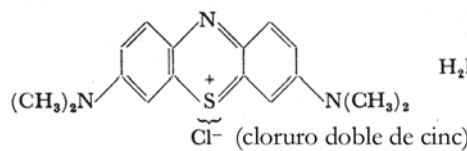
En los años siguientes al descubrimiento de Perkins otros investigadores sintetizaron más colorantes básicos, la mayoría de ellos del grupo de los **trifenilmetanos** pero también pertenecientes a los grupos de las **oxazinas**, **tiazinas**, **acridinas** y **xantanos**. A continuación damos las estructuras de algunos de los colorantes más representativos de cada grupo:



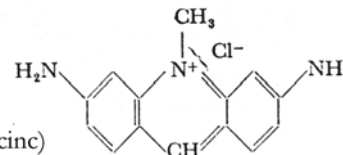
Verde Malaquita
(grupo del Trifenilmentano)



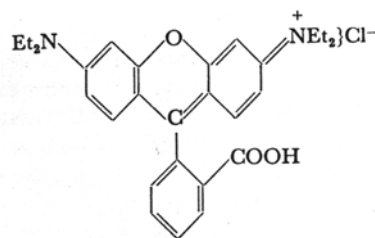
Azul Meldola
(grupo de la Oxazina)



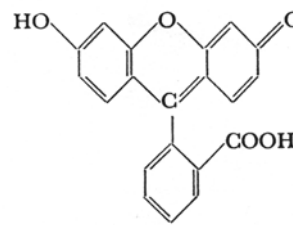
Azul de metileno
(grupo de la Tiazina)



Acriflavina
(grupo de la Acridina)



Rodamina B
(grupo del Xantanos)

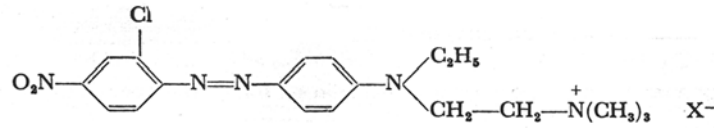


Fluoresceína
(grupo del Xantanos)

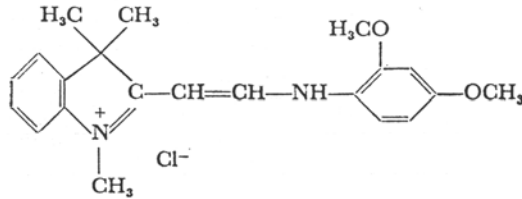
Estos colorantes se puede obtener en una gran gama de tonos y se destacan por su extraordinario **brillo** y **gran poder tintóreo**. Inicialmente se utilizaron para la tintura de lana y seda, pero luego se dejaron de utilizar para ese fin debido a sus **muy bajas solideces a la luz**. Actualmente se utilizan en la producción de tintas de imprenta, en la coloración de papel, crayones, cosméticos, etc.

Los colorantes básicos no tienen afinidad por el algodón. Sin embargo si esta fibra se trata previamente con un **mordiente**, consistente en una mezcla de **ácido tánico** y tartrato ácido de sodio, se obtienen tinturas firmes debido a la formación de tanatos insolubles. Estos tanatos insolubles, preparados por separado, se pueden utilizar como pigmentos los que poseen también un gran brillo y muy baja solidez a la luz. Sustituyendo, como precipitante, el ácido tánico por **ácido fosfo tungstico molibdicó** se han obtenido pigmentos de mucho mayor solidez a la luz.

El **poliacrilonitrilo**, cuya molécula polimérica contiene grupos terminales ácidos, se tiñe con colorantes básicos obteniéndose colores brillantes con solideces a la luz de aceptables a muy buenas. Una gran cantidad de colorantes básicos se han desarrollado para la tintura de fibras de poliacrilonitrilo. Algunos ejemplos:



Rojo Básico 18



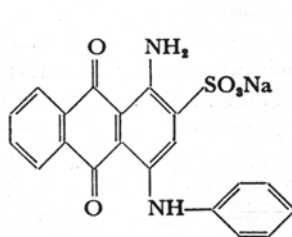
Amarillo Básico 3G

Algunos de estos colorantes básicos se pueden **sulfonar** obteniéndose así “**colorantes ácidos**” de gran brillo, moderada solidez a la luz y muy buenas solidez húmedas. Estos “**colorantes ácidos**” se utilizan para la tintura de lana (ver Sección “Tintura de Lana”)

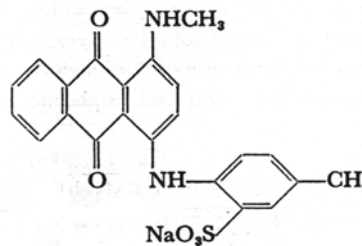
3.1.4- Colorantes antraquinónicos

La **alizarina** es el único colorante antraquinónico de origen natural y ha sido conocida y utilizada desde la Antigüedad. Este colorante de color rojo anaranjado, se extraía de la raíz de una planta, la “*rubia tintorea*”, originaria de la India. Después del **índigo**, la **alizarina** es el colorante natural históricamente más importante. La **alizarina** natural se utilizaba en la tintura de algodón previamente mordentado con alumbre, sustancia con la que se fijaba dentro de la fibra, obteniéndose así muy buenas solidez húmedas. Usando diferentes mordientes se obtenían distintos tonos de rojo, púrpura y marrón.

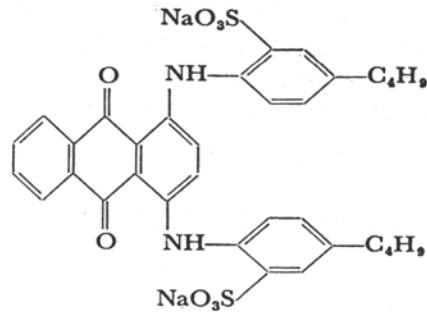
En **1868** se logra la síntesis de la **alizarina** lo que abre el camino a la síntesis de otros colorantes antraquinónicos. Este grupo de colorantes constituye uno de los más apreciados en la tintorería industrial, pues a pesar de su *alto precio* (pues son difíciles de producir) son muy brillantes y *tienen solidez a la luz y al lavado excepcionalmente altas*. Son muy utilizados para la tintura de lana y poliamida en tonos brillantes.



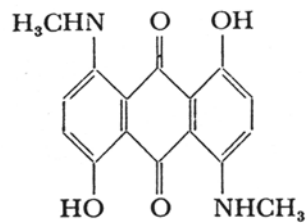
Azul B



Celestol B

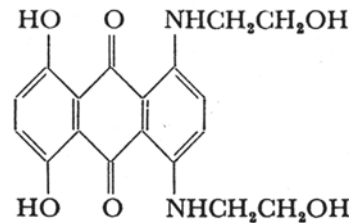


Verde G



Azul G

y

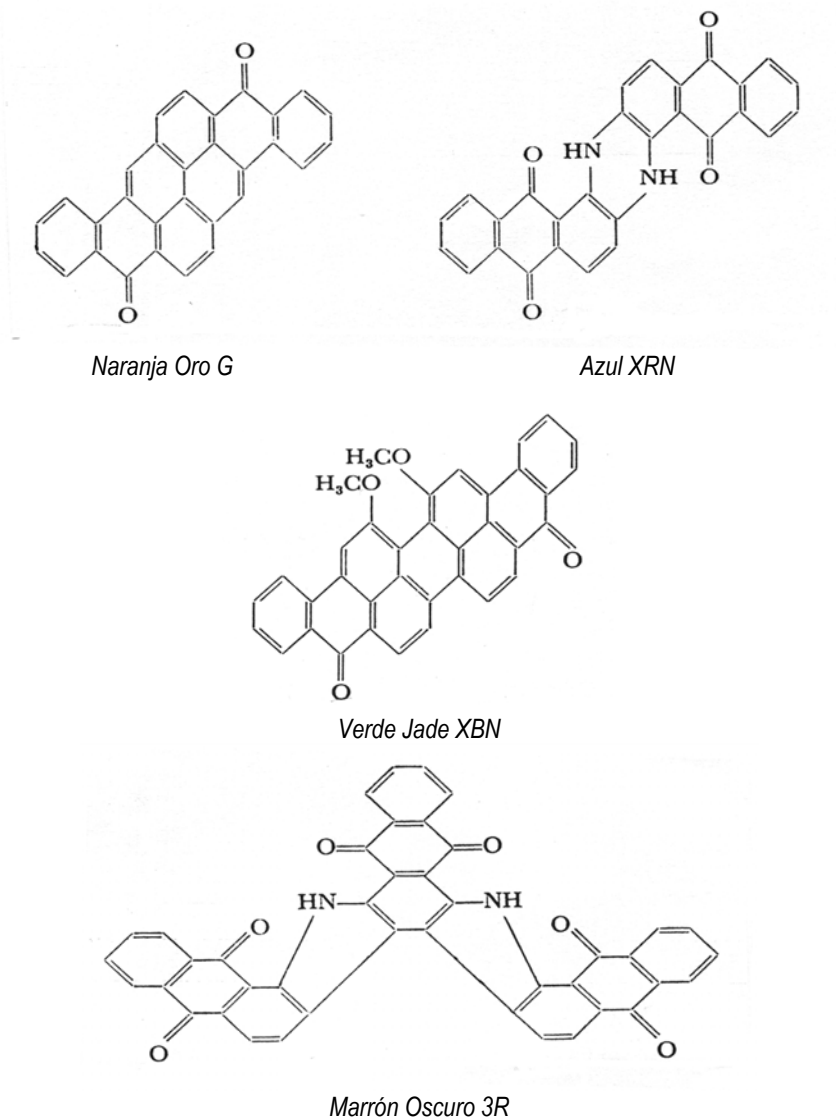


Verde B

Los grupos de colorantes **azo** y **antraquinónicos** son en cierto modo complementarios pues permiten al tintorero disponer de una gama amplia de tonos de alta solidez a la luz. Los colorantes **azo** suministran los tonos amarillos, naranjas y rojos, mientras que los antraquinónicos (o “alizarínicos” como se les llama a veces) suministran los tonos azules, verdes y violetas. Los marrones y negros se obtienen por mezcla.

3.1.5- Colorantes “tina” antraquinónicos

Una mención especial merecen los colorantes **tina antraquinónicos**, ya que son de gran importancia comercial. Los colorantes “tina” (en inglés “vat dyes”) son colorantes insolubles en agua que al ser tratados con un agente reductor, se hacen solubles en solución alcalina. Con el producto reducido, soluble y casi incoloro (al que comúnmente se le llama “leuco forma”) se puede teñir el algodón. Si posteriormente, el artículo de algodón teñido se oxida al aire (o con agentes oxidantes apropiados) se vuelve a formar el colorante insoluble, quedando este retenido mecánicamente dentro de la fibra. De tal manera se obtienen tinturas de muy buenas solidez húmedas. Esta característica de los colorantes tina se debe a la presencia en la molécula de dos o más grupos cetónicos. La reducción los convierte en grupos $\geq C - OH$ que, en presencia de álcalis, forman sales solubles en agua. En general estos colorantes están formados por estructuras policíclicas con hasta diecinueve anillos condensados, construidas a partir de la antraquinona o sus derivados. Algunos ejemplos típicos:



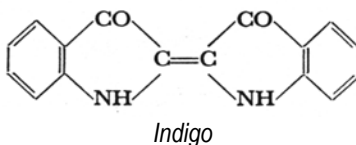
Los colorantes **tina antraquinónicos** cubren un amplio espectro de tonos que van desde el amarillo al verde. Se utilizan casi en forma exclusiva para el teñido de algodón y otras fibras celulósicas, como el rayón viscosa, obteniéndose solidez excelentes.

Como la forma reducida o "leuco forma" de los colorantes **tina antraquinónicos** es muy inestable se trató de estabilizarla preparando ésteres sulfúricos, conteniendo el grupo $-\text{OSO}_3\text{H}$. Estos productos pueden ser comercializados en forma de polvos estables, solubles en agua, que pueden utilizarse en procesos de teñido sencillos en los que solo se requiere el uso adicional de un ácido oxidante. La aplicación principal de estos colorantes es en estampación textil y en la tintura de algunos tonos pastel.

3.1.6- Colorantes "tina" indigoides

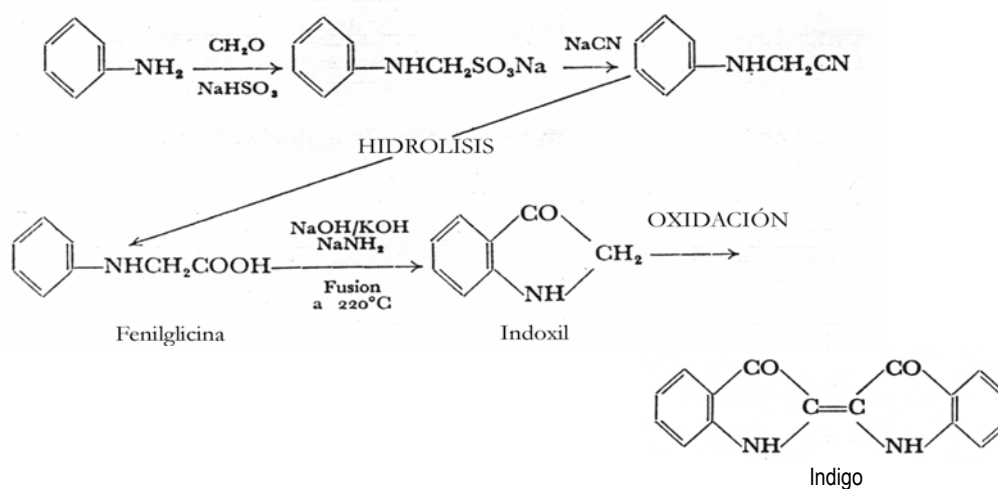
Históricamente el miembro principal de este grupo es el **índigo** que, durante siglos, fue preparado en grandes cantidades a partir de una planta originaria de la India, la "indigofera tintorea", y utilizado

para la tintura del algodón y otras fibras celulósicas. En su forma reducida, *glucósido de indoxilo* o *indican*, es hidrosoluble. En su forma oxidada, que es como está presente en la planta, es insoluble.



Notese que la estructura del **índigo**, al igual que los colorantes **tina antraquinónicos**, se caracteriza por tener en su molécula dos grupos cetónicos. El **6:6'-dibromoindigo**, "**púrpura de Tiro**" o "**púrpura imperial**"- llamado de esas dos últimas formas por ser obtenido de caracoles que se recogían cerca de la costa de la ciudad fenicia de Tiro y se utilizaba principalmente para teñir de púrpura las capas de los emperadores romanos - es otro colorante históricamente importante.

Hacia el final del siglo XIX el índigo fue obtenido por síntesis química y durante el siglo XX se fueron sintetizando otros que derivaron, en su gran mayoría, de la estructura básica del índigo. Un ejemplo es el tioíndigo obtenido de sustituir los dos grupos - NH - por átomos de azufre, y que es un colorante rojo del que derivan otros importantes colorantes.



3.1.7- Colorantes sulfurosos

Aún hoy, a más de cien años del descubrimiento del primer miembro de este grupo, se sabe poco de la estructura química de estos colorantes. Son producidos por calentamiento de algunos productos intermedios con azufre o con soluciones de azufre en sulfuro de sodio. En consecuencia todos ellos contienen azufre en su molécula, son insolubles en agua pero solubles en soluciones de sulfuro de sodio.

Generalmente las soluciones en sulfuro de sodio se comportan de manera similar a una "leuco forma" de colorante tina, ya que son adsorbidas por el algodón y - luego de exponer éste al aire (o a otro oxidante) - vuelven a transformarse, dentro de la fibra, en el colorante original, insoluble en agua. Se obtienen así tinturas de muy altas solidez al lavado.

Los intermediarios usados en la producción de colorantes sulfurosos son en general sencillos y baratos como p.ej. el dinitrofenol, el ácido pícrico, la m-tolilendiamina, la bencidina, la difenilamina y

el fenol. Los procesos de fabricación son también, en general, sencillos por lo que los colorantes sulfurosos son colorantes relativamente baratos, lo que sumado a sus buenas solidez húmedas les ha ganado un gran mercado.

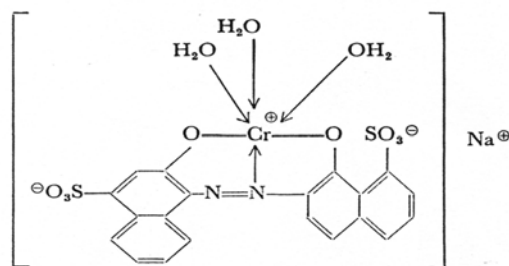
Son usados únicamente para teñir algodón y otras fibras celulósicas. Los hay de colores que van del amarillo al verde, pero los de color negro y azul son los más importantes. No hay, sin embargo, un buen rojo y los colores son en general apagados en comparación con los de los colorantes **azo**,

Las soluciones de los colorantes sulfurosos tienen en general sustancias insolubles en suspensión lo que genera problemas en la tintura en "empaquetado" (ver capítulo "Equipos y Procedimientos de Tintura"). Sin embargo, se pueden producir colorantes sulfurosos derivados del ácido tiosulfónico que dan soluciones acuosas claras y estables. Estas soluciones no tienen sustantividad sobre el algodón a menos que sean reducidas con sulfuro de sodio pero tienen la ventaja, además de no tener sustancias insolubles en suspensión, de producir tinturas mejor igualadas con solidez equivalentes a las que se obtienen con los colorantes sulfurosos convencionales.

3.1.8- Colorantes metalizados

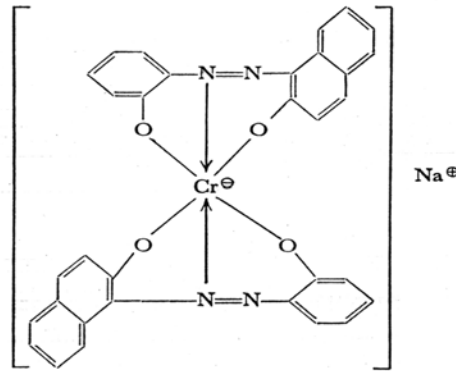
Durante mucho tiempo, para la tintura con colorantes naturales, se usaron óxidos y sales metálicas como "**mordientes**". Su función era la de actuar como reactivos que insolubilizaran al colorante de manera que este quedara fijado dentro de la fibra con alta solidez al lavado. Con estos procedimientos de tintura el color varía según el metal del óxido o sal usada.

Con posterioridad al desarrollo de los colorantes sintéticos se comprobó que la solidez al lavado de la lana teñida con colorantes **antraquinónicos** (conteniendo grupos hidroxilos), con colorantes **o:o'-dihidroxiazó** y otros, podía mejorarse notablemente con un tratamiento posterior con dicromato de sodio o de potasio. Un resultado similar se obtenía a veces si la lana era tratada con dicromato antes o durante la tintura. Este notable aumento de la solidez al lavado es debido a la formación de complejos de coordinación de las moléculas de colorante con un átomo de cromo, que luego queda fijado firmemente a la fibra. Este procedimiento de tintura tiene, sin embargo, el inconveniente de producir considerable cambio en el tono del colorante, siendo difícil la reproducción del mismo contra standards o entre tinturas sucesivas (este inconveniente es mayor con el procedimiento de *postratamiento*). Para superar esta dificultad se desarrollaron los colorantes **premetalizados** que ya tienen incorporado un átomo de cromo por molécula de colorante (**colorantes premetalizados 1:1**) y con los que se puede teñir la lana con el mismo procedimiento, en general, como para los colorantes **ácidos**.



C.I. Azul Acido 158

Una desventaja importante que tuvieron estos primeros colorantes premetalizados era que la tintura debía hacerse en baños fuertemente ácidos y a ebullición, durante tiempo prolongado, lo que dañaba la lana. En 1927, luego de extensos trabajos y como resultado de una fuerte vinculación entre la industria y la investigación académica, se logró incorporar una segunda molécula de colorante por cada átomo de cromo, obteniéndose así los colorantes **premetalizados 1:2**, como por ejemplo:



Estos colorantes con aniones complejos de coordinación, al carecer de grupos sulfónicos o carboxílicos no tienen buena solubilidad en agua. Con la introducción de grupos sulfónicos o carboxílicos se obtienen aniones con por lo menos tres cargas negativas, pero estos colorantes son insatisfactorios pues presentan problemas de igualación en el teñido de lana. La introducción de grupos metilsulfonilos o sulfonamídicos corrige en parte este inconveniente pues se logra una mayor solubilidad en agua sin afectar las solidez ni la igualación. Sin embargo, el gran avance se produce cuando aparecen los colorantes premetalizados 1:2 asimétricos, hechos con *dos colorantes de distinto tipo*, de los cuales solo uno tiene un grupo sulfónico. Estos colorantes monosulfonados tienen buen solubilidad y con ellos se puede teñir con buenas solidez e igualación de color.

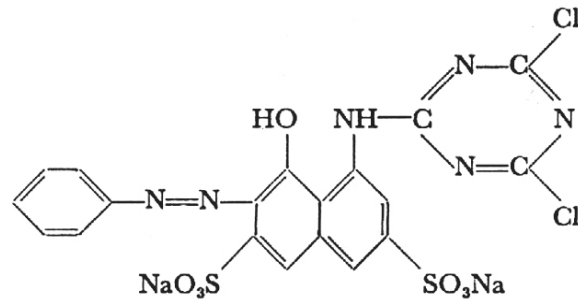
Los complejos de cromo no solo pueden prepararse a partir de los colorantes o:o'- dihidroxiazos sino también de los o-carboxi-o'-hidroxiazos, o-amino-o'-hidroxiazos y o-hidroxi-o'-metoxiazos. El cromo también puede ser sustituido por otros metales de coordinación octaédrica, pero el **cobalto** es el único que da colorantes de importancia técnica. En comparación a los colorantes con cromo, los colorantes con cobalto absorben luz de menor longitud de onda (*efecto batocrómico*) y tienen mayor solidez a la luz.

Los colorantes o:o'- dihidroxiazos y los o-carboxi-o'-hidroxiazos también forman complejos estables con **cobre**. Algunos de estos complejos tienen afinidad por el algodón (y otras fibras celulósicas) y con ellos se pueden obtener tinturas con mayores solidez húmedas pero con tonos menos brillantes que con los colorantes originarios. El procedimiento usado es, en general, teñir el textil con el colorante **azo** y luego tratarlo con una solución ácida de sulfato de cobre. A este grupo de colorantes se les conoce con el nombre de "**cuprofijables**".

3.1.9- Colorantes reactivos

La posibilidad de que el colorante se fije a la fibra textil por medio de una reacción química que genere uniones estables entre ambos, produciendo tinturas con altas solidez húmedas, es un tema que mereció y merece mucha atención de los investigadores. Los colorantes básicos y ácidos, p.ej., se unen a los grupos carboxilos y amino de la lana, respectivamente, pero esas uniones

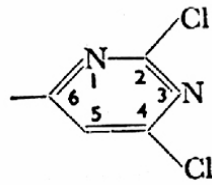
iónicas o salinas son relativamente débiles. En las fibras celulósicas, en cambio, se llegó a acetilar o alquilar los grupos hidroxilo de la celulosa, sin alterar la estructura de la fibra, gracias a las investigaciones de **Stephen y Ratee**, de la *Imperial Chemical Industries (ICI)*. Estos encontraron en 1956 que colorantes con grupos **diclorotriazinil** podían teñir el algodón **en condiciones alcalinas** produciéndose entonces uniones covalentes muy estables lo que daba como resultado tinturas con excelentes solidez húmedas. *Se trataba de una reacción de Schotten- Baumann en la que un átomo de cloro reactivo puede ser remplazado, en medio fuertemente alcalino, produciéndose una condensación con compuestos con grupos amino o hidroxilo.* Un ejemplo de colorante de ese tipo es el siguiente:



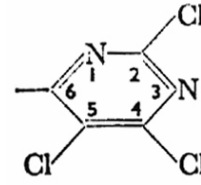
Los primeros intentos estuvieron dirigidos a tratar de teñir lana aprovechando la presencia de grupos amino en la queratina, pero las condiciones fuertemente alcalinas atacaban a la fibra. En cambio los resultados con el algodón fueron exitosos. Las propiedades de “sustantividad” para que un colorante tiñera el algodón (*forma, tamaño y peso molecular*) dejaron de ser necesarias y fue posible utilizar colorantes con estructuras relativamente simples y con altas velocidades de difusión. Esto hizo posible una gran mejora en el brillo y la intensidad de las tinturas de algodón. Una prueba de la unión química de estos colorantes con la fibra de algodón es que no son extraídos por solventes como la **piridina**, mientras que los *colorantes directos* sí lo son fácilmente. Por otra parte, la celulosa teñida con colorantes reactivos tiende a perder su solubilidad en *soluciones cuproamoniacales*, especialmente cuando la estructura del *colorante reactivo* permite la formación de “*cross linking*” entre las cadenas poliméricas de la celulosa.

Algunos de estos colorantes con grupos **diclorotriazinil** son tan reactivos que es posible aplicarlos en frío y en condiciones alcalinas moderadas. Estos colorantes reaccionan también con el hidroxilo del **agua**. Si la tintura es rápida, la pérdida por hidrólisis es pequeña pero si en cambio se manejan grandes volúmenes o pastas de estampación, con almacenajes prolongados, la pérdida de colorante puede ser grande con la consiguiente atenuación de la intensidad del color. Para esos fines es mejor usar colorantes menos reactivos que requieren temperaturas entre 60 y 100°C para su fijación. Estos colorantes menos reactivos se pueden obtener remplazando en el grupo **diclorotriazinil** un átomo de cloro por un grupo amino, amino sustituido, alquiloxi u otro grupo no lábil.

El gran éxito que obtuvo *ICI* con este tipo de colorantes reactivos (*colorantes Procion*) tuvo un efecto revolucionario pues todo gran fabricante de colorantes se esforzó por desarrollar productos similares destinando gran cantidad de recursos a la investigación. Actualmente existen diversos tipos de colorantes reactivos y solo mencionaremos algunos de los más conocidos. Los primeros que compitieron con los *Procion* de *ICI* fueron los *Cibacron*, colorantes **monoclorotriazinilicos** desarrollados por la antigua firma *CIBA*. Posteriormente aparecen los colorantes *Reactone* y *Drimarene*, de las antiguas firmas *GEIGY* y *SANDOZ*, que contienen grupos **di- ó tri-cloropirimidil**.

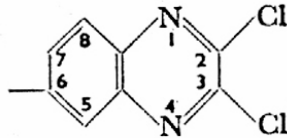


grupo dicloropirimidilo

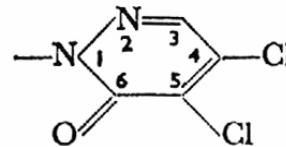


grupo tricloropirimidilo

En 1962 la firma *BAYER* introduce los colorantes *Levafix E* que contienen residuos del grupo **2:3-dicloroquinoxalina** unidos a la molécula del colorante por un grupo carbonilo en la posición 6. En este tipo de colorantes un átomo de cloro es lábil alrededor de los 40°C y ambos átomos de cloro son remplazados a mayor temperatura (*p.ej durante el vaporizado*). La firma *BASF* desarrolló a su vez los colorantes *Primazin P* que contienen el grupo **4:5-dicloro-6-piridazona** en los que el átomo de cloro en la posición 4 es reactivo y la fijación se realiza por vaporizado en condiciones fuertemente alcalinas. Estos colorantes son muy estables en pastas de estampación.

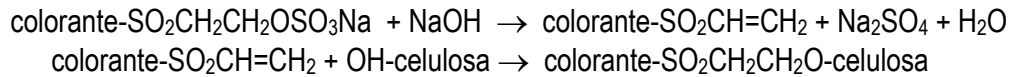


Residuo 2:3-dicloroquinoxalina



residuo 4:5-dicloro-6-piridazona

Todos los colorantes que hemos mencionados hasta ahora se combinan con la celulosa por **sustitución nucleofílica**. Sin embargo otros colorantes pueden combinarse por **adición nucleofílica** y un ejemplo es el de los colorantes *Remazol* de *HOECHST*:



Posteriormente al desarrollo de los colorantes reactivos para el algodón y otras fibras celulósicas la atención de los investigadores se orientó hacia las fibras poliamídicas o "nylons". La estructura de estas fibras presenta una gran variación química y física lo que puede causar tinturas mal igualadas. Los **colorantes dispersos** son en general de buena igualación y disimulan bastante este problema pero sus solideces húmedas son solo moderadas. Los **colorantes ácidos** tienen mucho mejor solideces húmedas pero revelan y ponen de manifiesto las irregularidades de la estructura de la fibra con lo que resultan tinturas de mala igualación. En 1959 *ICI* suministró una solución para este problema con la introducción de los **colorantes dispersos reactivos Procinyl**. Estos colorantes contienen átomos de cloro reactivos pero son aplicados sobre la fibra poliamídica en soluciones débilmente ácidas, lo que permite una buena igualación. Después, el baño se hace alcalino y tiene lugar la reacción del colorante sobre la fibra con los que se obtienen, además de buena igualación, muy buenas solideces húmedas. Otro desarrollo relativamente reciente es el de los colorantes **reactivos bifuncionales**, con dos grupos reactivos en la molécula.

En la década de 1950 *HOECHST* introduce los colorantes *Remalan*, reactivos para **lana** que contienen el grupo **sulfatoetil sulfona** y, en 1963, *ICI* desarrolla los colorantes *Procilan* que son colorantes metal complejos 1:2 que contienen grupos reactivos. En general, la lana que ha recibido tratamientos enzimáticos o con cloro, para eliminarle la cutícula y evitar así el afieltrado, conviene

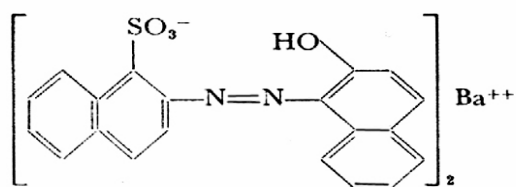
teñirla con colorantes reactivos. Esta lana, así tratada, si se tiñera con otro tipo de colorantes, p. ej. colorantes ácidos, tendría muy bajas solideces húmedas.

3.1.10- Pigmentos

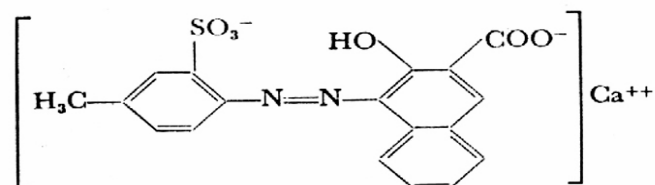
Los pigmentos, o colorantes insolubles o muy poco solubles en agua, se utilizan preferentemente en pastas de estampación textil, en pinturas, lacas, esmaltes cerámicos, tintas de imprenta, en la coloración en masa de fibras, materiales plásticos, cauchos naturales y sintéticos, etc., etc. De acuerdo a su uso final los pigmentos tendrán que tener propiedades adecuadas como solidez a la luz, alta opacidad, resistencia a los álcalis y ácidos y resistencia a altas temperaturas. El color, el poder cubriente y otras propiedades de los pigmentos dependen en gran medida del tamaño y forma de las partículas y del estado de agregación de estas. En general, se trata de molerlos a tamaños de partícula entre 0,5 y 2,0 μm y que un 90% pase la malla Tyler 400 (*actualmente con el desarrollo de la nanotecnología se están obteniendo tamaños de partícula aún menores*). Muchos de ellos existen en varias formas (*polimorfismo*) según el proceso de fabricación utilizado para producirlos. Pequeños cambios en ese proceso puede dar lugar a grandes cambios en las propiedades del pigmento y es necesario un riguroso control de calidad durante la producción. Se conocen varios miles de pigmentos orgánicos pero solo mencionaremos algunos de los tipos más importantes.

Los pigmentos **azo** son los más numerosos y comparativamente los más baratos, suministrando los tonos amarillos, naranjas, rojos y rojos azulados del espectro. En general son de dos tipos: **1)** los que tienen **grupos solubilizantes** en agua y, **2)** los que no tienen estos grupos. Si bien los pigmentos son por definición insolubles en agua y es contradictorio que posean grupos solubilizantes, hay dos razones para que esto sea deseable. Una tiene que ver con el hecho de que el grupo que promueve la solubilidad en agua disminuye, por otra parte, la solubilidad en solventes orgánicos y evita, en las pinturas y tintas, el problema conocido como "sangrado". Otra razón es que el proceso de fabricación es más barato si se prepara el pigmento en solución acuosa y luego se le precipita en forma insoluble. Este tipo de pigmentos se conoce con el nombre de "**lacas**" y en general se obtienen precipitando el colorante *azo soluble* como sales de *calcio, bario, manganeso, aluminio*, etc.

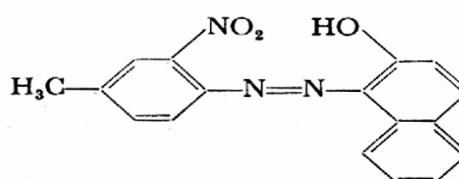
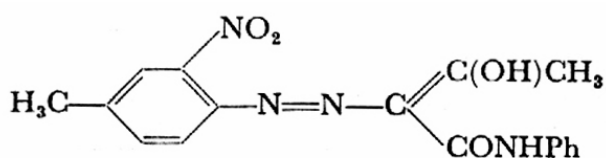
Los pigmentos azo sin grupos solubilizantes son más numerosos, se producen en mayor cantidad y también abarcan la gama de amarillos, naranjas y rojos. Son en general brillantes y de solideces buenas pero no sobresalientes. A continuación se muestran algunos ejemplos:



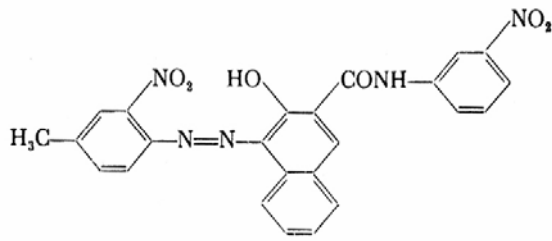
Laca rojo Lithol



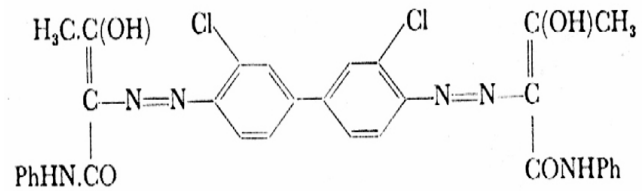
Laca rubí Lithol



Pigmento azo amarillo



Pigmento azo amarillo

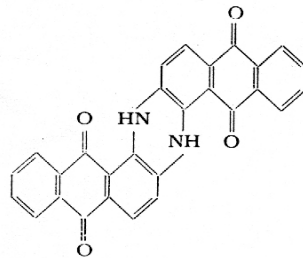


Pigmento azo marrón

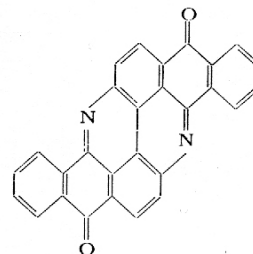
Pigmento azo amarillo

Otro tipo de pigmentos son los que se obtienen precipitando algunos **colorantes básicos** con **ácido tánico** o sales complejas como los *fosfotungstomolibdatos*. Estos pigmentos se destacan por su intensidad de color, muy buen brillo pero bajas solideces a la luz.

Los colorantes tina, en la forma oxidada e insoluble, pueden considerarse pigmentos. Sin embargo solo algunos de ellos, como los derivados de la indantrona, flavantrona y tioindigo, son adecuados para este fin.

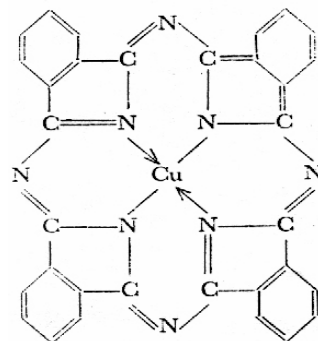


Indantrona



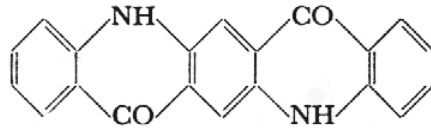
Flavantrona

Si bien los pigmentos derivados de los colorantes tina suministran una gama de azules de la que carecen los pigmentos derivados de los colorantes azo, las solideces a la luz de estos pigmentos azules no son satisfactorias. Este problema fue resuelto por casualidad en 1928, por químicos de la Scottish Dyes Ltd., cuando durante la síntesis de **ftalimida**, un intermediario para la síntesis de colorantes tina, se produjo una contaminación con **hierro** (proveniente de las paredes del reactor) lo que resultó en el descubrimiento de la **ftalocianina férrica**, pigmento **azul** de muy buenas solideces. Otros metales, como el **cobre**, pueden ocupar el lugar del hierro, obteniéndose entonces **ftalocianina cúprica** cuya estructura fue confirmada por J.M. Robertson en una de las primeras aplicaciones de la técnica analítica de difracción con rayos X.



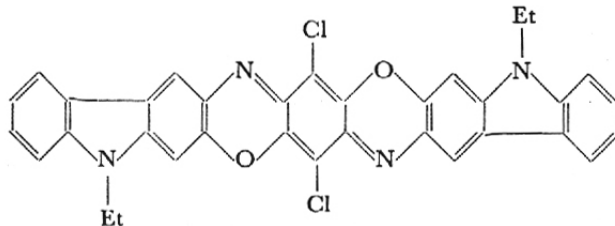
Este pigmento azul posee excelente brillo y solidez y ha encontrado numerosas aplicaciones. Si se introducen alrededor de 15 átomos de **cloro** en su estructura, se obtiene un pigmento **verde** brillante similar al azul en cuanto a solidez. Sustituyendo parcialmente el cloro por el bromo se obtienen ftalocianinas cúpricas de tonos verde amarillento.

Otro grupo de pigmentos son los derivados de la **quinacridona** que es polimorfa y se obtiene en tres formas.



Las formas alfa y gama son rojas y la forma beta es violeta. Estos pigmentos son muy brillantes y sus solideses generales son comparables a la de las ftalocianinas. Son pigmentos caros pero se utilizan mucho en pintura para automóviles donde la durabilidad y la resistencia a la intemperie es de fundamental importancia.

Otro pigmento que merece ser mencionado pertenece al grupo de las **trifendioxazinas**. Es un pigmento violeta de gran brillo, con alto poder tintóreo y muy buenas solideses generales. Este pigmento es también muy usado en pinturas, tintas, plásticos y papel y tiene la siguiente estructura:



Finalmente para completar el panorama de los pigmentos, debemos mencionar al **negro de humo**, una forma de carbono elemental, que se usa extensamente como pigmento negro, y a los **pigmentos inorgánicos** como el **dióxido de titanio** utilizado actualmente como el pigmento blanco casi por excelencia, los **cromatos de plomo** y de **zinc**, en la gama de amarillos y naranjas, los **óxidos de hierro**, que van del amarillo al negro pasando por los ocre, naranjas, rojos y marrones, los **óxidos de plomo**, los **sulfuros de cadmio**, etc.

3.2.0 - La "Solidez" de los Colorantes

La estabilidad o permanencia del color de un textil teñido es conocida como "**solidez**" ("**fastness**" en inglés). Se determinan solideses a la luz (*solar y otras*), al lavado (*en diversas condiciones*), a la limpieza en seco, al frote (*húmedo y seco*), al planchado caliente, a la transpiración (*en presencia de metales o no*), etc. Si el teñido se realiza al inicio de lo que va a ser un largo proceso, los colorantes que se empleen deberán dar tinturas con solidez a las operaciones que se realicen posteriormente al teñido (*p.ej. carbonizado, batanado, decatizado, "potting", etc., en el caso de la lana, y termofijado, en el caso del poliéster y la poliamida*). Existen métodos estándar para la determinación de estas solideses (*ref. bibl. 4*).

Ningún tinte cumple con todas y cada una de las exigencias de solidez. Por tanto, la selección del colorante adecuado para cada fibra y para el uso final al que se destina el textil es, en general, una elección difícil que debe hacerse con mucho cuidado.

A medida que se producen cambios tecnológicos y continua la demanda de artículos textiles, se hacen necesarios nuevos ensayos de solidez. Un ejemplo es el relativamente reciente requerimiento de **solidez al "gas fading"** para los *colorantes dispersos aplicados sobre rayón acetato*, ya que muchos de las tinturas hechas con estos colorantes se decoloran al tomar contacto con los gases liberados por los motores de combustión interna y por algunos procesos de la industria química. Este requerimiento de solidez es el resultado del aumento de contaminación ambiental, sobre todo en grandes ciudades o áreas industriales.

Los ensayos esenciales y más comunes son los de solidez a: **1) la luz, 2) al lavado y 3) al frote**. El ensayo de **solidez a la luz** se hace exponiendo a la luz solar la muestra a ensayar junto con *ocho (8) muestras estándar de lana teñidas cada una con diferentes colorantes azules*. Se sabe que estas tinturas expuestas a la luz solar se decoloran a diferentes y conocidas velocidades que se ordenan en una escala de 1 a 8. La calificación de 1 será para las solidez muy bajas y la de 8 para las solidez muy buenas y cada calificación corresponde aproximadamente al doble de solidez que el valor que le precede. La muestra problema se compara con la escala de muestras estándar y se le asigna el número de la muestra estándar más parecida.

El ensayo de **solidez al lavado** se realiza lavando la muestra en condiciones estándar de temperatura, tiempo, agitación, detergente, etc. La muestra problema se lava cosida junto a otras telas blancas (*sin teñir*). Después del lavado se seca la muestra con aire seco y se compara con una **escala de grises** que va del 1 al 5. El 5 corresponde a la mejor solidez y la 1 a la peor. Las telas blancas cosidas a la muestra principal también se comparan con la escala para determinar el grado de migración de colorante desde la tela teñida hacia el baño.

3.3.0- Nomenclatura Comercial

Los fabricantes comercializan los colorantes con nombres de fantasía más números y letras que, en general, tratan de indicar algunas de sus características. Así por ejemplo, un colorante con el nombre de *Amarillo Cromocel 2G* podría ser un colorante *directo* para fibras celulósicas, de tono verdoso (*la G sería la abreviatura de "green", verde en inglés*). El *Amarillo Cromocel 5G* sería, p.ej. un colorante amarillo de tonalidad más verdosa aún. Los *Amarillos Cromocel 2R* y *3R* serían en cambio de tonalidad rojiza. Otros ejemplos:

Azul Cromactive R 200: colorante azul cromatable rojizo, con el doble de concentración que el producido por el mismo fabricante en una concentración standard.

Rojo Dispersol 4G 160: colorante rojo *disperso* de tonalidad amarillenta (*la G en este caso es abreviatura de "gelb", amarillo en alemán*), con una concentración 160 % con respecto al standard.

Azul Acilán 3G 300: colorante ácido para lana, de tonalidad verdosa, tres veces más concentrado que el standard.

Otras letras agregan otro tipo de información, como por ejemplo: la **L** puede significar que se trata de un colorante sólido a la luz; la **N** de un colorante nuevo o recientemente desarrollado, la **Ex** de un colorante "extra" o de calidad mejorada con respecto a una versión anterior, la **S** que es un colorante standard o sulfonado o soluble o sólido a la sublimación, **HT** que es un colorante para ser usado a alta temperatura, **GF** que es resistente al "gas fading", **conc** que es más concentrado que el

standard, etc. Es importante señalar que en general, los fabricantes de colorantes deben establecer estrictos controles de calidad para mantener constante, de una partida a otra, el tono, el tamaño promedio y la distribución del tamaño de partícula, el contenido de humedad y, especialmente, la concentración. El fabricante en general mezcla el colorante con p.ej. sulfato de sodio, para ajustar su concentración en función del rendimiento tintóreo de esa partida a un valor standard. Se les envasa preferentemente en envases con tapa removibles, pero de cierre hermético, y se les debe almacenar en ambientes secos, a temperatura y humedad controlada. Los colorantes deben elegirse en los catálogos suministrados por el fabricante donde, en general, se muestran los colores que se obtienen al teñir a distintas concentraciones y se da información útil con respecto a los métodos de tintura y a las solidez finales del textil teñido.

3.4.0- El Color Index

El "**Color Index**" es una publicación editada conjuntamente por la Sociedad de Tintoreros y Coloristas de Inglaterra (*The Society of Dyers and Colourists*, SDC) y la organización similar de USA (*The American Association of Textile Chemists and Colorists*, AATCC). En ella se registran y clasifican prácticamente todos los colorantes conocidos. Consta de varios volúmenes básicos que son actualizados periódicamente. También se publican actualizaciones anuales para aquellos que adquirieron la obra en el pasado. Desde hace algunos años el "**Color Index**" puede también adquirirse en "disco compacto" ("CD") y recientemente se puede acceder a visitando la página web de la AATCC y SDC. Se trata de una obra de consulta imprescindible para todo el que utiliza o comercializa colorantes.

El **Color Index** agrupa a los colorantes en diferentes clases: naturales, directos, tina, sulfuro, diazotables, reactivos, ácidos, cromatables, básicos, dispersos, pigmentos, alimentarios. Dentro de cada clase los clasifica por color y les asigna un número de acuerdo al orden histórico de su descubrimiento y/o aparición en el mercado. También les asigna un número "constitucional" según su estructura química. Así por ejemplo el primer colorante sintético, la mauveína descubierta por W. Perkins en 1856, es el "Violeta Básico 1".

Conocido el nombre y número de "**Color Index**" de un colorante es posible conocer su estructura química, sus propiedades, los métodos de tintura para diferentes sustratos y los nombres comerciales bajo los cuales lo comercializan las empresas que lo fabrican. A la inversa, dado el nombre comercial de un colorante, también es posible obtener su nombre y número de **Color Index**.

BIBLIOGRAFIA

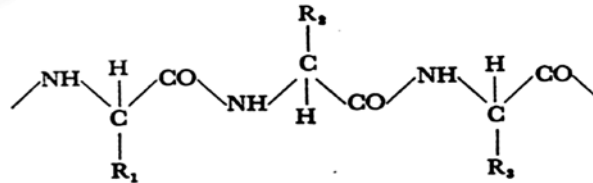
- 1- *"Encyclopedia of Chemical Technology", Kirk-Othmer, Interscience Publishers, New York, Second Edition, 1963.*
- 2- *"Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles", J.Cegarra, P.Puente, J. Valdeperas. ETSII, Universidad Politécnica de Barcelona, España, 1981*
- 3- *"Color Index", The Society of Dyers and Colourist, Bradford, UK; "The American Association of Textile Chemists and Colorists, Lowell, Mass., USA. Second Edition 1956 y suplementos siguientes.*
- 4- *"Standard Methods for the Determination of the Colour Fastness of Textiles", Society of Dyers and Colourists, 4th. Edition, UK, 1973.*
- 5- *"Les matériaux de la Couleur", F. Delamare & B. Gineau.. Ed. Gallimard, Paris 1999*

TABLA 8.12 – CARACTER IONICO DE LOS COLORANTES Y DE LAS FIBRAS			
<i>CARÁCTER IONICO DEL COLORANTE</i>	<i>CARÁCTER IONICO DE LA FIBRA</i>	<i>TIPO DE FIBRA A TEÑIR</i>	<i>GRUPOS DE COLORANTES QUE SE PUEDEN UTILIZAR</i>
ANIONICO	NO IÓNICA	ALGODON RAYON VISCOSA	DIRECTOS TINA AL SULFURO REACTIVOS AZOICOS
ANIONICO	CATIÓNICA	LANA SEDA POLIAMIDA	ÁCIDOS AL CROMO PREMETALIZADOS REACTIVOS
CATIÓNICO	ANIÓNICA	ACRÍLICA LANA	CATIÓNICOS O BÁSICOS
NO IÓNICO	NO IÓNICA	POLIÉSTER DI y TRIACETATO	DISPERSOS
NO IÓNICO	CATIÓNICA	POLIAMIDA	DISPERSOS
NO IÓNICO	ANIÓNICA	ACRÍLICA	DISPERSOS

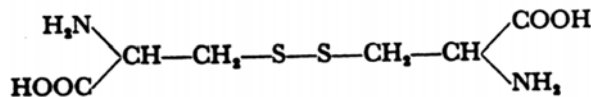
4.0.0- TINTURA DE FIBRAS TEXTILES

4.1.0- LA TINTURA DE LANA

La lana está constituida principalmente por **queratinas**, proteínas formadas por 18 aminoácidos diferentes que, mayoritariamente, poseen la fórmula general $H_2N.CHR.COOH$. Estos aminoácidos están unidos en largas cadenas polipéptidas:



donde R representa a **cadena lateral** de diferente tipo. Algunas de esas cadenas laterales, provenientes del aminoácido **cistina**, forman puentes entre las largas cadenas polipeptídicas (“*crosslinking*”) lo que hace que las queratinas tengan, en gran medida, las características de un polímero tridimensional con un peso molecular estimado en aproximadamente 60.000



Algunas cadenas laterales R terminan en grupos **amino** y otros en **carboxílicos** lo que permite también la formación de enlaces **electrovalentes** entre cadenas. Existen también enlaces o puentes de hidrógeno entre cadenas. Además de la estructura química compleja de las **queratinas**, la fibra lana posee la estructura física más compleja de todas las fibras textiles, pues está formada por un cortex (*compuesto de haces de fibrillas*) rodeado por una cutícula escamosa (ver Vol. 1, Cap. 3, “Lana. Estructura y Propiedades”).

Esta complejidad, tanto química como estructural, hace que de la tintura de la lana deba ser especialmente cuidadosa pues la afinidad de los colorantes no es uniforme a través de toda la fibra. La cutícula externa es de carácter hidrofóbico y resistente a la penetración de las soluciones colorantes, pero como muchas veces esta cutícula no se extiende hasta la punta de la fibra, o puede ser dañada durante alguno de las operaciones de hilatura, existe el riesgo de obtenerse tinturas desperejadas o “punteadas”. Por otra parte, las condiciones de tintura no pueden ser alcalinas pues esto destruye los puentes de *cistina* con la consiguiente disminución de la resistencia a la tracción de la fibra. Si bien la lana resiste mejor las condiciones ácidas, tampoco puede ser sometida, en esas condiciones, a ebullición prolongada sin que se produzca la rotura de enlaces peptídicos. La obtención, entonces, de tinturas igualadas, sin agredir excesivamente a la fibra, no es fácil, especialmente cuando se usan mezclas de colorantes.

Debido a la presencia de grupos **carboxílicos** y **amino** en las queratinas, la lana tiene afinidad por los **colorantes básicos** y **ácidos**, respectivamente. Actualmente, los **colorantes básicos** son poco usados, pues si bien dan tinturas muy brillantes, tienen en general bajas solidez húmeda y a la luz. En cambio, los **colorantes ácidos** presentan, en general, un buen compromiso de todas estas propiedades.

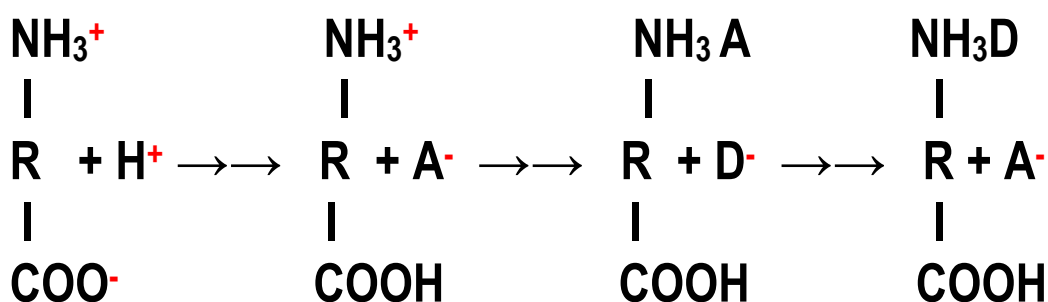
Muchos **colorantes ácidos** tienen grupos **sulfónicos** en su molécula y la formación de **enlaces iónicos** entre estos **grupos sulfónicos ácidos** y los **grupos amino básicos** de la queratina es una de las causas por la que el colorante se fija en la fibra. Este **enlace iónico** ($-NH_3^+ D^-$) es

favorecido por el agregado de ácido, pues un exceso de H^+ neutraliza los grupos $-COO^-$ de las queratinas generando una protonización de los grupos amina con formación de grupos NH_3^+ que atraen a los aniones colorantes D^- . También son atraídos los aniones del **ácido** y de las **sales auxiliares** que se agreguen. Estos pequeños aniones competirán con el **anión colorante D^-** , de mucho mayor tamaño, mejorando la igualación de la tintura.

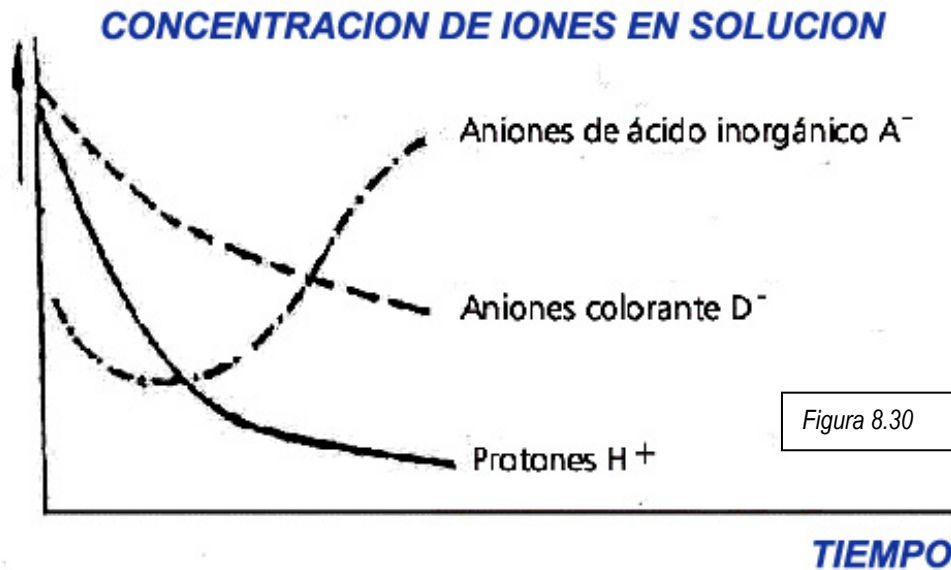
Como los **enlaces iónicos** son enlaces *débiles* no son suficientes para explicar las, en general, buenas solidez húmedas de los colorantes ácidos sobre la lana. Por otra parte la lana *deaminada*, o con los grupos amino bloqueados, aún se puede teñir con muchos colorantes ácidos. Por tanto se considera que deben existir también uniones *no polares* del tipo **van der Waals** entre la parte *no polar* o hidrófoba del anión colorante con la cadena hidrocarbonada, también *no polar* e hidrófoba, de la queratina. Esta unión será tanto más fuerte cuanto mayor sea el área de contacto entre ambas partes, es decir mayor el tamaño de la partícula colorante. Los **enlaces hidrógeno**, entre grupos *carboxilo* de la queratina e *hidroxilo* y *amino* del colorante, son también posibles y seguramente contribuyen a mejorar la solidez húmeda de la tintura.

Los **colorantes ácidos** se pueden clasificar, de manera muy general, en dos grupos: los de **“buena igualación”** (*en inglés “levelling acid dyes”*) y los **“batán”** (*en inglés “milling acid dyes”*). A los colorantes de **buena igualación** se les llama también **“colorantes ácidos del grupo I”** y a los **batán**, **“colorantes ácidos del grupo III”**. Los colorantes que poseen propiedades intermedias entre estos dos grupos, integrarían un **“grupo II”**.

Los colorantes del **grupo I** o **“ácidos de buena igualación”** son en general de bajo peso y pequeño tamaño molecular. Se aplican comúnmente en baños con 3.0-4.0 % de ácido sulfúrico de 66° Bé (**grupo I A**) o ácido fórmico 85% (**grupo I B**) agregándose en ambos casos 5.0-10.0 % de **sulfato de sodio anhidro** (o la correspondiente cantidad del decahidrato o sal de Glauber). El pH se debe regular a **2.5-3.0**. Son colorantes de muy buena solubilidad en agua (*por los grupos sulfónicos que generalmente contienen sus moléculas*) pero de baja afinidad por la fibra y por tanto difunden o migran fácilmente dentro de ella. Si bien con ellos se obtiene buena “igualación” o “nivelación” de color, sus solidez húmedas son, en general, bajas. Estos colorantes se unirían a la queratina principalmente por **uniones iónicas** más que por **uniones de van der Waals**. El agregado de **sulfato de sodio** genera una acción retardante e igualante extra, pues el anión SO_4^- , relativamente pequeño, difunde y compite mejor con el anión colorante, mucho más grande, por los lugares de tintura en la fibra.



MECANISMO DE TINTURA CON COLORANTES ÁCIDOS DEL GRUPO I
 H^+ , Hidrogeniones del ácido A^- , Anión, p.ej. SO_4^- D^- , Anión del colorante



TINTURA CON COLORANTES ÁCIDOS DEL GRUPO I

Los colorantes del **grupo III**, o "**batán**", son de mayor peso y tamaño molecular que los del **grupo I**, o "**de buena igualación**". Tienen muy alta afinidad por la fibra y por tanto, dentro de ella, difunden o migran con dificultad. Dan tinturas de alto brillo, con altas solideces húmedas pero, en general, de difícil "igualación" o "nivelación" de color. Por esta razón, en general, no es fácil usar mezclas o tricromías de ellos. Se pueden teñir a pH 6.0-8.5 con sales como el *acetato de amonio* ó el *sulfato de amonio* que en solución dan un pH ligeramente ácido, que va disminuyendo gradualmente al entrar el baño en ebullición por desprendimiento de NH_3 . La tintura a pH 4.5-5.5, p.ej. con ácido acético, requiere el agregado de agentes auxiliares igualizantes. Por debajo de pH 4.5 se obtienen tinturas muy mal igualadas. Estos colorantes reciben el nombre de "**batán**" porque las telas teñidas con ellos resisten el "**batanado**", una de las operaciones de terminación lanera en la que se requiere el máximo de solidez húmeda posible (ver Cap.7, "Procesos Húmedos, Secc. 4.3.0). Las uniones de estos colorantes con la queratina serían predominantemente del tipo de **van der Waals** más que **iónicas** o de **hidrógeno**. Por estas características, y su alto peso molecular, los colorantes ácidos "batán" son similares a los colorantes "directos". Como la celulosa se degrada en baños de tintura ácidos y a ebullición, muchos colorantes batán se utilizan para teñir, a pH casi neutro, mezclas de lana y algodón.

Los colorantes del **grupo II** tienen una mayor afinidad por la fibra que los del **grupo I**. Se tiñen a pH 4,5-5,5 con ácido acético. Poseen buena migración (*por tanto buena igualación*) y buenas solideces húmedas (*si bien no tan buenas como los "batán"*). Muchos de ellos poseen también altas solideces a la luz. Como se dijo antes, la tintura de la lana en condiciones ácidas puede producir hidrólisis de las cadenas *polipéptidas* (o *poliamidas*) de las queratinas, con una disminución de la resistencia a la tracción de la fibra. Para minimizar este efecto, la tintura con colorantes del **grupo II** es ideal, ya que estos tiñen a un pH que corresponde al **punto isoeléctrico** de la lana (pH 4,5-5,2), condiciones en las que esta tiene una mayor estabilidad química. Teñir a temperaturas por debajo de la ebullición (85-90°C) es también recomendable para no agredir a la lana.

Los **colorantes ácidos "mordentables"** presentan la propiedad de combinarse con óxidos o hidróxidos metálicos (*por formación de enlaces covalentes coordinados*) para formar complejos coloreados o "lacas" que, formadas dentro de la fibra textil, presentan luego muy buenas solideces húmedas. Las sales de aluminio, cromo, cobre, hierro y estaño, todas dan hidróxidos

pocos solubles y son adecuadas como “mordientes”. De todas ellas solo las sales de **romo** son actualmente las únicas que tienen importancia para la tintura de lana. La lana se trata con *dicromato de sodio o potasio* antes del teñido (*pero también puede ser durante o después del teñido*). Como el cromo en estos compuestos está en estado hexavalente, debe ser reducido a cromo trivalente (*p.ej. con un reductor como el ácido fórmico*) para que pueda coordinarse. Si bien el mecanismo de la formación de la “laca” cromo-colorante está claramente establecido, no ocurre lo mismo con el mecanismo por el cual el colorante y el cromo, se combinan con la lana (*ver ref. bibl. 1,2 y 3*). Los **colorantes cromatables** permiten obtener tinturas económicas sobre lana (*especialmente para negro y otros colores oscuros*) con altas solideces húmedas y a la luz. Tiene, sin embargo, varios inconvenientes: **1)** produce disminución de brillo y un considerable cambio en el tono del colorante, siendo muchas veces difícil la reproducción del mismo (*este inconveniente es mayor cuando se cromata luego del teñido*); **2)** confiere “mano” áspera a la lana; **3)** la tintura es más complicada que con otros tipos de colorantes; **4)** genera efluentes que contienen *cromo hexavalente* y que deben ser tratados adecuadamente para proteger al medio ambiente.

Posteriormente se desarrollaron los **colorantes ácidos premetalizados** con la idea de obtener una mezcla de propiedades: el buen brillo y sencillez de aplicación de los **colorantes ácidos** y, las buenas solideces húmedas de los **colorantes cromatables**, sin los problemas ambientales que generan los efluentes de estos últimos. Existen dos tipos de colorantes premetalizados: los **premetalizados 1:1**, que tienen una molécula de colorante por átomo de cromo y, los **premetalizados 1:2**, que tienen dos moléculas de colorante por átomo de cromo.

Los colorantes **premetalizados 1:1** son complejos hidrosolubles formados entre un átomo de Cr y una molécula de colorante, de tipo azoico, que tiñen la lana en baños fuertemente ácidos ($pH = 2,0 \pm 0,1$ con ácido sulfúrico). La solubilidad en agua de estos colorantes es debida a la presencia en el cromóforo de uno o dos grupos sulfónico ($-SO_3$) o sulfonamina ($-SO_2NH_2$). Los colorantes **premetalizados 1:1** son de altas solideces húmedas y a la luz, de excelente migración y con ellos se obtienen tinturas muy igualadas (como con los colorantes **ácidos del Grupo 1**), si bien más opacas. Deben teñirse, sin embargo, con proporciones elevadas de ácido sulfúrico (*aprox. un 8% sobre el peso de la fibra*). Entonces, por el bajo pH a que se debe realizar la tintura ($pH 1,5-2,5$), para evitar daños a la lana, los tiempos de tintura no pueden ser muy prolongados. Es también muy importante que al final de la tintura se enjuague bien y se neutralice (*preferentemente con acetato de sodio*) la acidez residual de la tela. Estos colorantes son ideales para teñir telas de lana donde siempre es fundamental lograr una buena igualación. Son aún más indicados para teñir telas que han sido **carbonizadas** previamente, pues se aprovecha la acidez residual que queda en la tela luego de realizado ese proceso húmedo (*ver Cap.7 “Procesos Húmedos, Secc. 2.6.0*). También son muy utilizados para teñir hilados de lana mezclada con pelo de conejo, alpaca, etc. con buena igualación. La gama de colores disponible es bastante extensa si bien no muy brillante, especialmente para los azules, verdes y violetas. Con auxiliares adecuados se pueden teñir a pH un poco más alto ($pH 3,5-4,0$)

Los **premetalizados 1:2** pueden subdividirse, a su vez, en dos subgrupos: **1)** los que **no** contienen grupos solubilizantes y pueden teñirse en baño neutro y, **2)** los que contienen grupos solubilizantes y que deben teñirse en medio débilmente ácido con la adición de agentes auxiliares de igualación. Los **colorantes premetalizados 1:2** que aparecieron primero en el mercado, poseían dos moléculas de colorante por átomo de cromo, **ambas iguales y sin grupos solubilizantes**. Los colorantes resultantes, conocidos como **no-sulfonados**, son simétricos con respecto al átomo de cromo, son poco solubles y tiñen la lana a *pH neutro* con buena igualación y buenas solideces. Cuando se introduce un grupo **sulfónicos** o **carboxílico** para mejorar la hidrosolubilidad, aparecen problemas de baja afinidad, malas solideces húmedas

y mala igualación de la tintura, especialmente diferencias de raíz a punta de la fibra (*“punteado”, “picoteado” o “tippy wool”*). La introducción de grupos solubilizantes no iónicos, como los metilsulfonilos y los sulfonamídicos, corrige en parte este inconveniente pues se logra una mayor solubilidad sin afectar demasiado las solidez ni la igualación.

Cuando aparecen los **colorantes premetalizados 1:2 asimétricos**, hechos con *dos colorantes de distinto tipo, por átomo de cromo*, de los cuales solo uno tiene un grupo sulfónico, se produce un cierto avance. Estos colorantes **monosulfonados** tienen buena solubilidad y con ellos se puede teñir en *baño neutro o ligeramente ácido* con lo que se daña poco a la fibra. Se obtienen también buenas solidez y buena igualación de color utilizando productos auxiliares adecuados. Los colorantes **disulfonados** tienen un buen agotamiento a pH 4,5 o menos y son baratos pero de mala igualación, obteniéndose también tinturas “picoteadas”. En general, los **colorantes premetalizados 1:2** son ideales para teñir “tops” e hilado en tonos pastel, con buena igualación y buena solidez a la luz. Sus solidez húmedas si bien buenas no lo son tanto como la de los colorantes ácidos cromatables, especialmente si el artículo de lana debe someterse a tratamientos de terminación severos como, p.ej., el “potting” (*ver Cap.7 “Procesos Húmedos”, Secc. 4.3.0*)

Finalmente, algunos de los **colorantes reactivos** desarrollados inicialmente para la tintura de algodón pueden ser utilizados también para teñir lana. Son también colorantes ácidos que tienen grupos capaces de reaccionar con las queratinas formando enlaces covalentes de alta energía. La reactividad entre la fibra y el colorante permite obtener muy altas solidez húmedas pero impide la migración, por lo que las tinturas desiguales no pueden luego ser corregidas. Sin embargo comenzando a teñir a un pH inicial cercano a 6,5, en presencia de lactosas y dosificando ácido fórmico se pueden obtener muy buenos resultados de igualación. La lana a la que se le haya aplicado terminaciones antiafieltrantes, p.ej. con procesos enzimáticos que eliminan las escamas de la cutícula, es mejor teñirla con **colorantes reactivos**. Utilizar colorantes ácidos en estas condiciones daría en general tinturas con malas solidez húmedas.

La lana puede ser teñida en cualquiera de las formas en que se la encuentra en la hilandería o en la tejeduría: **borra, mecha peinada (“top”)**¹, **hilado en madeja, hilado en bobinas, tela**, así también como **prenda terminada**. De todas maneras, cualquiera sea la etapa en que se realiza la tintura, los colorantes deben ser capaces de soportar todos los procesos posteriores a los que se someta el material textil. Por ejemplo, la tintura de tela, además de requerir una muy buena igualación del color, debe resistir los tratamientos de terminación a los que se someten, muchas veces, las telas de lana, como por ejemplo el “decatizado”, el “potting”, el “crabbing”, etc. (*ver Cap.7, “Procesos Húmedos”, Secc. 4.3.0*)

Los colorantes, en general, deben ser cuidadosamente empastados con agua blanda, caliente conteniendo pequeñas cantidades de tensoactivo para evitar la formación de grumos. Luego de diluir los colorantes así empastados se agregarán al baño de tintura a través de un cedazo. Para evitar la precipitación de algunos colorantes como sales de los cationes Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ (*formación de “lacas”*) se debe utilizar agua “blanda” (*p.ej. el agua de retorno del condensado de las líneas de transporte de vapor de la tintorería puede ser aprovechada con este fin*). El agregado de *secuestrantes* de hierro, níquel y cobre (*como el EDTA o el tiocianato de sodio*) puede, en muchos casos, ser recomendable para evitar cambios de colores en las tinturas pero *esta práctica no es recomendable para los colorantes premetalizados*. Para evitar contaminaciones metálicas en el baño de tintura, los equipos deben ser preferentemente de acero inoxidable. Con los colorantes ácidos de todo los grupos y los colorantes ácidos premetalizados, los efluentes

¹ El “top” p.ej. también puede ser estampado en franjas, con pastas de estampación especiales, para lograr el efecto “Vigoreaux”.

producidos son relativamente poco contaminantes debido a que estos colorantes, en general y siempre que se tiñan a pH adecuado, tienen altos agotamientos. En cambio, y como ya se señaló, la tintura con colorantes ácidos cromatables genera efluentes que contienen **Cromo hexavalente** que debe retirarse por tratamientos fisicoquímicos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- *“Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles”*, J.Cegarra, P.Puente y J. Valdeperas. Universidad Politécnica de Barcelona, 1981.
- 2- *“Wool Dyeing”* Ed. By David M.Lewis, The Society of Dyers and Colourists, PO BOX 244, Perkin House, 82 Grattan Road, Bradford, West Yorkshire BD12JB, England, 1992
- 3- *“The Theory and Practice of Wool Dyeing”*, C.L.Bird, The Society of Dyers and Colourists, PO BOX 244, Perkin House, 82 Grattan Road, Bradford, West Yorkshire BD12JB, England, 1972
- 4- *“A Practical Introduction to the Dyeing and Finishing of Wool Fabrics”*, Ian Bearpark, F.William Marriott and James Park, The Society of Dyers and Colourists, PO BOX 244, Perkin House, 82 Grattan Road, Bradford, West Yorkshire BD12JB, England, 1986.
- 5- *“The Sirolan-Ltd. Process, Low Temperature Wool Dyeing with Eviromental Benefits”*, J.A..Rippon, F.J.Harrigan, CSIRO Division of Wool Technology, Geelong Laboratory, Belmont, Victoria, 3216, Australia.

TABLA 8.13
ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS COLORANTES ÁCIDOS

DE BUENA IGUALACIÓN (Grupo I)	DE ALTA AFINIDAD (“BATÁN”) (Grupo III)
Bajo peso molecular	Alto peso molecular
En general, sales sódicas de derivados sulfónicos de compuestos azoicos	Similares químicamente a los de buena igualación pero de moléculas más grandes y de estructuras mucho más complicadas.
Poseen grupos sulfónicos los que confieren buena solubilidad en agua y la capacidad de formar enlaces iónicos con los grupos amino de la queratina.	Menos grupos sulfónicos en la molécula y tendencia a formar uniones de Van der Waals. Presentan alta afinidad por la queratina.
No tienen tendencia a la asociación molecular.	Tienen tendencia a la asociación molecular y a la formación de soluciones coloidales.
El anión colorante sube a la fibra compitiendo, por los grupos amino de la queratina, con los aniones inorgánicos más pequeños	Los aniones inorgánicos más pequeños no compiten con el colorante por los grupos amino de la queratina.
Se tiñen a pH bajos (3.0)	Se tiñen a pH más alto (5.0-7.0)

TABLA 8.14
COLORANTES PARA LA TINTURA DE LANA

TIPO DE COLORANTE	Apto para teñir	pH aprox. de tintura	Migración	Solideces Húmedas	Solidez a la luz	Brillo
Acidos Grupo 1 Buena igualación. Bajo PM. Baja afinidad del anión colorante Se utilizan ácidos sulfúricos o fórmico	Tela para tapados, tapicería, alfombras, etc. Se recomienda limpieza "en seco"	2 - 4	Muy buena	Baja	Regular a Buena(5-6)	Bueno
Acidos Grupo 2 Igualación y solideces medias Alta afinidad del anión colorante Se utiliza ácido acético y acetato de sodio	Hilado en madeja Tela en piezas	4 - 6	Buena	Regular	Regular (5-6)	Bueno
Acidos Grupo 3 Alta afinidad o "batán". Alto PM Muy alta afinidad del anión colorante. Se utiliza acetato de amonio	Borra, "tops", hilados, medias, etc. En general prendas que deben soportar lavados frecuentes.	6 - 7	Mala	Muy buena	Regular a buena (4-7)	Bueno
Acidos Grupo 4 ("superbatán")	Borra, "tops", hilados	7,0	Mala	Muy buena	Regular a buena (4-7)	Bueno
Cromatables	Borra, "tops"	3,0 - 5,0	-	Muy buena	Muy buena (6-7)	Bajo
Premetalizados 1:1	Tela en piezas	2,0	Muy Buena	Buena	Buena (5-7)	Bajo
Premetalizados 1:2 No sulfonados Monosulfonados Disulfonados	Tops, Hilado (baja solubilidad) (buena solubilidad) (muy buena solubilidad)	5,5-6,5 5,5-6,5 5,0-6,0	Buena Regular Mala (con "picoteo")	Buena Buena Regular	Buena Buena Buena (5-7)	Regular Regular Regular
Básicos	Hilado en madeja	6,0-7,0	Buena	Baja	Muy mala (2-3)	Muy bueno
Reactivos	Hilado en madeja	4,5-6,5	Regular	Muy buena	Buena (5-7)	Bueno

NOTA: En general los catálogos de los proveedores de colorantes indican procedimientos de tintura detallados. En el "Color Index" también se puede obtener mucha información práctica.

TABLA 8.15
LA TINTURA DE LANA SEGÚN LA PRESENTACIÓN DEL MATERIAL

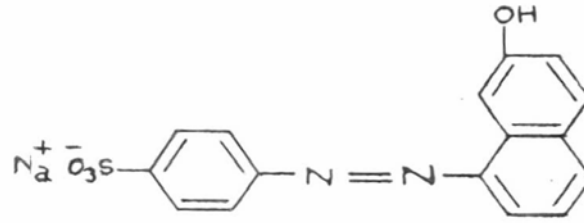
FORMA DE PRESENTACIÓN	REQUERIMIENTOS MÁS IMPORTANTES DE LA TINTURA	COLORANTES RECOMENDADOS	EQUIPOS RECOMENDADOS
BORRA	BUENAS SOLIDECES HÚMEDAS: la tintura debe soportar los procesos siguientes (p.ej. el carbonizado). La igualación , en cambio, no es importante: en el proceso de hilatura (Sistema Cardado) al mezclar el material, se compensan las desigualdades de color .	* Acidos del grupo 3 y 4 (colorantes batán) * Cromatables * Premetalizados 1:2	AUTOCLAVE
MECHA PEINADA ("TOP")	Similares a tintura en borra. Sólidos a los procesos de terminación: batanado ácido o alcalino, decatizado, "potting", etc.	* Acidos del grupo 3 y 4 (colorantes batán) * Premetalizados 1:2 * Cromatables	AUTOCLAVE
HILADO EN MADEJA	SOLIDECES HÚMEDAS MÁXIMAS: en general el hilado en madeja se utiliza en prendas de punto con combinaciones de hilado de colores oscuros y claros. BUENA IGUALACIÓN	* Acidos grupos 2, 3 y 4 * Cromatables * Premetalizados 1:2 * Reactivos	ARMARIO y otros
HILADO EN BOBINAS	SOLIDECES HÚMEDAS similares a tintura de hilado en madeja. IGUALACIÓN MÁXIMA	* Acidos 3 y 4 * Premetalizados 1:2 * Cromatables	AUTOCLAVE
TELA	MÁXIMA IGUALACIÓN. Solideces húmedas de acuerdo al uso final.	* Acidos del grupo 1 y 2 * Premetalizados 1:1	BARCA, "JIGGER", AUTOCLAVE "OVERFLOW", "AIRFLOW"
PRENDAS	MÁXIMA IGUALACIÓN. Solideces húmedas de acuerdo al uso final.	* Acidos del grupo 1 y 2 * Premetalizados 1:2 * Premetalizados 1:2	BARCA

TABLA 8.16
ALGUNAS DE LAS TRICROMÍAS MÁS USADAS PARA LANA

GRUPO DE COLORANTES	AMARILLO Color Index	MAGENTA ("Rojo") Color Index	CIAN ("Azul") Color Index	pH recomendado
Acidos 1a	17	37	23 / 45	2,5 ± 0,1
Acidos 1b	49	42	40 ó 41	3,5 ± 0,1
Acidos 2	61	118	82 ó 125	4,7 ± 0,1
Acidos 3	127	249	54	6,5 ± 0,1
Premetalizados 1:1	99	183 ó 186	158	2,0 ± 0,1
Premetalizados 1:2	220	313	207	4,8 ± 0,1

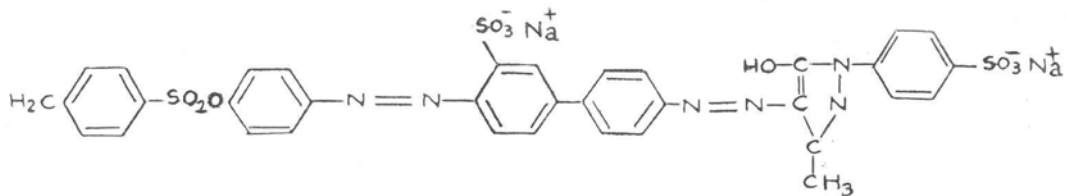
TABLA 8.17
COLORANTES PARA LANA

GRUPO DE COLORANTES	SELECCIONES MÁS USADAS
Acidos Grupo II	ABL 125, AR 336
Acidos Grupo III	AY 127, AR 111, AR 249, AR 54, AV 48, ABL 80, ABL 185
Mordentables	AMBR 15, AMBR 33, AMBL 13 AMBL 9, AMBK 17, AMBK 1, AMBK 8, AMBK 9, AMBK 11
Premetalizados 1:1	AY 99, AR 183, AR 186, ABL 158, ABK 52
Premetalizados 1:2 Disulfonados	AY 220 / 232 / 235, AR 315 / 359 / 414, ABK 172 / 207 / 220, ABL 193 / 284 / 317 ABR 282 / 283 / 355
Reactivos	RY 39, RR 65 / 66 / 136, RBL 50



COLORANTE ACIDO DE BUENA IGUALACION

NARANJA II, Color Index Naranja Acido 7, **Peso molecular 192 (*)**

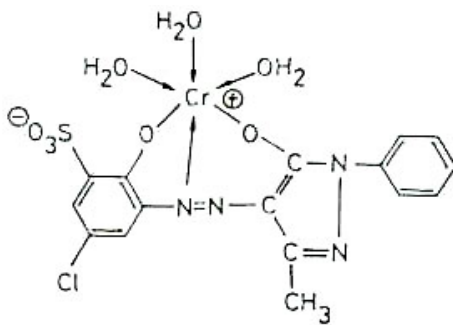


COLORANTE ACIDO DE ALTA AFINIDAD ("BATAN")

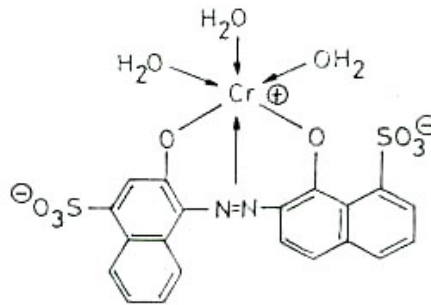
Amarillo Batán R, Color Index Amarillo Acido 63, **Peso molecular 427 (*)**

Estructura más compleja y con mayor peso molecular que la anterior

(*) Se ha optado por la representación antigua o clásica del núcleo bencénico

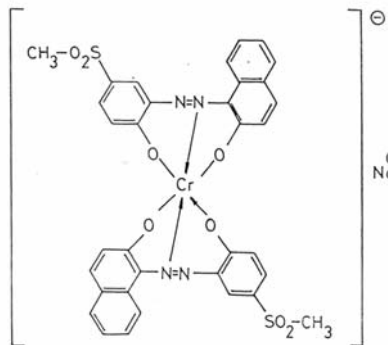


Rojo Acido C.I. 180

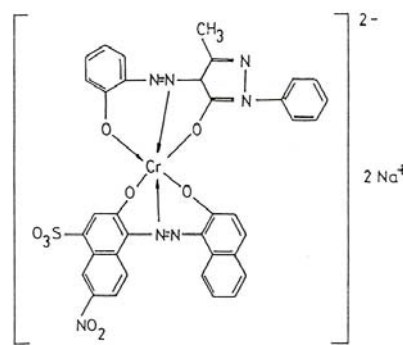


Azul Acido C.I. 158

El colorante **Rojo Acido C.I. 180** es eléctricamente neutro, pues el único grupo sulfónico presente forma una sal interna con el átomo de Cr cargado electropositivamente. En cambio, el colorante **Azul Acido C.I. 158** es un "anión colorante" debido a la presencia de dos grupos sulfónicos. En caso de no haber grupos sulfónicos tendríamos un "catión colorante". La mayoría de los colorantes premetalizados 1:1: poseen un solo grupo sulfónico, un reducido número posee dos grupos sulfónicos y unos pocos, carecen de grupos sulfónicos.



(a)



(b)

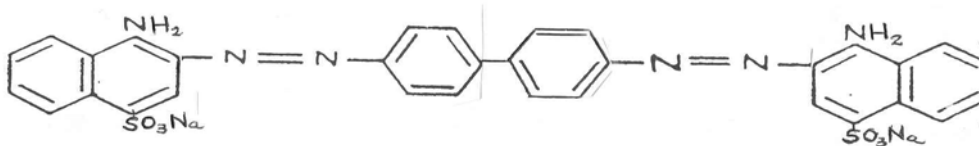
Colorantes premetalizados 1:2: (a) simétrico con grupos solubilizantes no iónicos, (b) asimétrico con un solo grupo sulfónico solubilizante.

4.2.0- LA TINTURA DEL ALGODÓN

El algodón y otras fibras celulósicas se pueden teñir con varios tipos de colorantes: directos, a la tina, al sulfuro, bases azoicas y reactivos. De todos ellos las bases azoicas han ido perdiendo importancia relativa frente a los otros grupos.

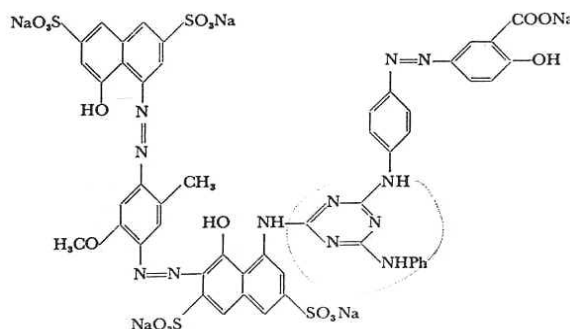
4.2.1- Colorantes Directos

La lana y la seda se pudieron teñir con relativa facilidad con los colorantes sintéticos desarrollados a partir de 1865. En cambio el algodón debía seguir siendo teñido en forma *indirecta*, mordentándolo previamente con ácido tánico y luego tiñéndolo con colorantes básicos que precipitaban dentro de la fibra fijándose en ella en forma insoluble. Recién en 1884 se desarrolla un colorante sintético soluble en agua, un **disazo** derivado de la *bencidina*, el **Rojo Congo** (*CI Rojo Directo 28*), que presentaba afinidad por el algodón y con el que se podía teñirlo en forma "*directa*". Rápidamente se desarrollaron otros colorantes "directos", derivados de la *bencidina*, y muchos de ellos están aún en uso, si bien en forma muy restringida debido a sus muy bajas solideces a la luz y a los riesgos para la salud asociados con su fabricación. También algunos colorantes derivados del *estilbeno* demostraron afinidad *directa* por la celulosa y suministran un rango de colores de amarillos y naranjas con buenas solideces. Los *colorantes directos* son en general de peso molecular elevado, lo que los asemeja a los *colorantes ácidos del grupo 3* ó "*colorantes batán*". Son, en general, menos solubles que los colorantes ácidos y tienen mucho más tendencia que estos a la formación de micelas de mayor tamaño y más complejas.



ROJO CONGO (*)

Prácticamente todos los *colorantes directos* son compuestos **azo** (en general *mono*, *di* y *triazó*) con uno o más grupos sulfónicos los que imparten solubilidad en agua. Algunos poseen también grupos *carboxilo* en posición orto con grupos *hidroxilo*, configuración esta que permite *postratamientos* para mejorar las solideces húmedas de la tintura. Con los colorantes **triazó** se obtienen colores intensos y la presencia de grupos *amido* y de anillos de *tiazol* en la molécula del colorante mejora su afinidad. La gama de colores de los *colorantes directos* se ha extendido por la introducción de grupos cromóforos en moléculas separadas electrónicamente en dos bloques por un grupo *triazinil*, de forma que cada bloque conserva sus propiedades de absorción de luz, p.ej.: un colorante verde sería el resultado de un bloque absorbiendo la fracción complementaria del azul y el otro la del amarillo.



VERDE SÓLIDO BLL (*)

(*) En todas las fórmulas se ha optado por la representación antigua o clásica del núcleo bencénico

La aplicación de los *colorantes directos* sobre el algodón es sencilla, si bien las condiciones óptimas pueden variar de un colorante a otro. En general la tintura se realiza a **pH neutro** o ligeramente alcalino, a 100°C o menos, con relaciones de baño de 20/1 a 30/1 y con agregados de *cloruro de sodio, sulfato de sodio anhidro o sulfato de sodio decahidratado (sal de Glauber)*. Los *cationes sodio* provistos por estas sales facilitan la aproximación del *anión colorante* a la interfase fibra/solución (*ver energía de activación en Sección. "Química Física de la Tintura"*).

Se ha tratado de explicar de varias maneras la *afinidad* y la "**sustantividad**" (*términos no necesariamente sinónimos*) de los *colorantes directos* por el algodón y por otras fibras celulósicas. Como la celulosa no tiene grupos polares capaces de formar uniones salinas, seguramente la **sustantividad** es debida a una combinación de las siguientes causas: **1)** La forma alargada de la molécula del colorante se acomoda a la forma también alargada de las unidades de *celobiosa* de la celulosa y es atraída por *fuerzas de Van der Waals*. Esta hipótesis no sería aceptable para el caso de las *leucoformas de los colorantes tinas* y las *ftalocianinas cúpricas sulfonadas* que no poseen moléculas alargadas pero igual presentan "**sustantividad**" por el algodón. **2)** La formación de *enlaces hidrógeno* entre grupos *azo, amino e hidroxilo* del colorante y los grupos *hidroxilo* de las unidades de *celobiosa*. La coincidencia estérica entre la molécula de colorante y la unidad de *celobiosa* facilitaría la formación de estos enlaces. **3)** Como en general los colorantes **sustantivos** producen agregados en solución acuosa (*a diferencia de los no sustantivos*), se considera que estos agregados se separan en la solución - a las temperaturas de tintura, 90/100°C, p.ej. - y se vuelven a formar dentro de la fibra quedando retenidos dentro de ella debido a su gran tamaño.

Según la AATCC se podría definir entonces a un **colorante directo** "*como todo colorante aniónico, sustantivo para el algodón cuando se aplica desde una solución acuosa en presencia de electrolitos*". Hay unos 250 colorantes directos, de diferentes estructuras químicas, pero que se ofrecen en el mercado, por diversos proveedores, bajo una gran cantidad de nombres distintos. De todos ellos aproximadamente el 25% corresponden a azules, 20% a rojos, 20% a amarillos, 10% a negros, 5% a verdes y el 20 % restante a todos los otros tonos. Los colorantes de mayor solidez a la luz forman un grupo llamado "directos luz". En cuanto al brillo y a las solideces húmedas, los colorantes directos considerados como grupo y con algunas excepciones, son de características medias. Muchos de ellos deben ser postratados para mejorar sus solideces húmedas (*ver más abajo*). Sin embargo para muchas aplicaciones, como p.ej. tapicería y diversas prendas de algodón, los colorantes directos son, en general, muy apropiados por ser relativamente baratos y de fácil aplicación. (*para cualquier tipo de tintura, la solidez a la luz es menor en los tonos pastel que en los oscuros, mientras que con las solideces húmedas ocurre lo contrario*).

Los colorantes directos pueden clasificarse en tres grupos **A, B y C**. En general, los fabricantes de colorantes, en sus catálogos, especifican a que grupo pertenece el colorante ofrecido. Los colorantes del *grupo A* son de **baja afinidad y de subida lenta**, con excelentes propiedades de igualación, especialmente para los colores claros, y requieren grandes cantidades de sal para su agotamiento. Los colorantes del *grupo B* poseen **velocidades de tintura medianas**, con propiedades de igualación de suficientes a buenas. La tintura se controla con el agregado de cantidades moderadas de sal siendo sensibles a su exceso y a las variaciones de temperatura. Los colorantes del *grupo C* son de **muy alta afinidad y velocidad de tintura** requiriendo poco o ningún agregado de sal para su agotamiento. La igualación del color es más difícil: se debe lograr controlando y subiendo gradualmente la **temperatura** de tintura. Cuando no hay otra posibilidad que mezclar colorantes para obtener un determinado color, se pueden mezclar colorantes del grupo **A** con los del **B**, o los del **B** con los del **C**, pero nunca los del **A** con los del **C** ya que sus comportamientos en el baño de tintura serán muy diferentes.

Se debe tener siempre en cuenta que aspectos tan importantes como *la velocidad de subida del colorante, su igualación y sus solideces húmedas* no solo dependen de la estructura molecular del colorante, sino también de factores externos al colorante como la preparación previa del textil y si este presenta mezclas de fibras, la calidad del agua (*presencia de Ca, Mg, Fe, Cl, etc.*), la curva de temperatura empleada, la cantidad de electrolito usado y cuándo y cómo es agregado al baño, el pH, la presencia de otros colorantes o productos químicos, la relación de baño a textil, la velocidad de circulación del baño, el tipo de equipo o máquina de tintura usado, si el método de tintura es por agotamiento o por impregnación, etc.

Como se mencionó más arriba las solideces húmedas de las tinturas se puede mejorar con diversos **postratamientos** sobre el textil teñido. En general todos estos postratamientos buscan *aumentar el tamaño de la molécula del colorante para que quede así retenida mecánicamente*, con la consiguiente mejora de las solideces húmedas. El postratamiento con **formaldehído**, es uno de los más usados pues produce poco cambio del color y de la solidez a la luz de la tintura. Otro es la **diazotación** de aquellos colorantes cuyas moléculas contienen grupos *amino* libres, para luego hacer un tratamiento con **agentes de copulación** o “*reveladores*” como el *fenol*, el *resorcinol*, la *m-fenilendiamina*, el *β-naftol* o el *ácido 2:3-hidroxinaftoico* (“*developers*” C.I. 5,8,9,10,11). El postratamiento con un **compuesto de diazonio** (como p.ej. la *p-nitroanilina diazotada* o “*developer*” C.I. 17) también se puede emplear para aquellos pocos colorantes que se pueden copular directamente. El postratamiento con **resinas catiónicas** también es muy efectivo. Finalmente el postratamiento con **sales de cromo** (*floururo de cromo y dicromato de sodio*) ya prácticamente no se usa más, por razones ecológicas. Estos **post tratamientos** mejoran mucho las solideces húmedas pero pueden producir, en general, intensificaciones o cambios del color. La **solidez a la luz** de las tinturas hechas con algunos tipos de colorantes directos (*colorantes cuprofijables*) pueden mejorar mucho con postratamiento con sales de **cobre**, que también cada vez se usan menos por razones ecológicas.

En general los colorantes directos además de algodón tiñen también otras fibras vegetales como el lino, yute, cáñamo, ramio, etc. Algunos tiñen también cuero, papel, lana, seda y poliamidas. No tiñen el acetato de celulosa si bien a veces lo ensucian considerablemente. Algunos precipitan con metales pesados para dar “*lacas*” que se utilizan como pigmentos para tintas y pinturas.

BIBLIOGRAFÍA

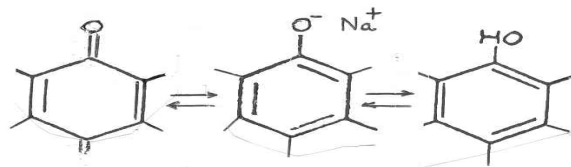
- 1- “*Direct Dyes and Their Application*” J.R.Aspland, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 23, No 11, Nov. 1991. 2do. capítulo de “*A Series on Dyeing*”.

4.2.2- Colorantes Tina

Los “*colorantes tina*” son insolubles en agua pero, al ser reducidos se solubilizan. En general hay una gran diferencia entre el color del colorante insoluble y su forma reducida o “*leucoforma*”. El algodón y el rayón viscosa se pueden teñir con esta solución reducida y si luego se expone la tela al aire, el colorante se oxida insolubilizándose nuevamente y quedando retenido mecánicamente dentro de la fibra. Esa retención mecánica da como resultado tinturas de muy buenas solideces húmedas. Actualmente en tintorería industrial la oxidación por exposición al aire de grandes cantidades de tela o hilado no es práctica, y se utilizan otros agentes oxidantes.

La *reducción alcalina* se hace generalmente con *hidrosulfito de sodio* ($Na_2S_2O_4$) en presencia de soda cáustica para obtener una “*leucoforma sódica*”, soluble, generalmente incolora o casi incolora (p.ej. del **índigo**, que es de color azul intenso, en la Antigüedad se reducía por fermentación obteniéndose una “*leucoforma alcalina*” de un débil color amarillo verdoso). Existen procedimientos modernos en que esta reducción se hace electrolíticamente.

El anión colorante de la "leucoforma" reducida es sustantivo para la celulosa y una vez que difunde dentro de la fibra puede someterse a una *oxidación ácida* con *peróxido de hidrógeno* o *perborato de sodio* y ácido acético lo que regenera la forma pigmentaria insoluble. La acidificación debe ser simultánea con la oxidación, y no anterior, pues de lo contrario se corre el riesgo de que se forme una "*leucoforma ácida*", poco soluble y que luego se oxida lentamente. Finalmente se hace un lavado o "jabonado" con el que se logra que las moléculas del colorante en forma insoluble se asocien, se agrupen o cristalicen con lo que mejoran aún más las solideces húmedas y a la luz, si bien, con esta operación, se producen ligeros cambios de color.



forma oxidada insoluble leucoforma alcalina leucoforma ácida

El "*púrpura de Tiro*" y el *índigo* son los colorantes tinas naturales conocidos desde la Antigüedad. El "*púrpura*" se extraía de un tipo de moluscos, el "*Murex Brandaris*", y el *índigo* se extrae, aún hoy, de una planta, la "*Indigofera tinctoria*" que crece en la India (*también, en Europa, se extraía bajo el nombre de "glasto" o "woad" de otra planta, la "Isatis tinctoria"*). El *índigo* fue y es utilizado para teñir el algodón de color azul o añil. A partir de fines del siglo XIX se logra la síntesis del *índigo* sintético y la de una numerosa gama de otros colorantes tina. Los colorantes tina pueden agruparse en dos tipos: los **indigoides** y los **antraquinónicos**. Estos últimos son los más usados pues presentan excelente solidez a la luz y muy buenas solideces húmedas al lavado que incluye, en algunos, buena solidez al blanqueo con cloro. Algunos pocos colorantes del grupo de indigoides producen tinturas de muy buen brillo, salvo el *índigo* que es, comparativamente a los otros miembros del grupo, el de propiedades más pobres. De todas maneras el *índigo*, tanto en su forma natural como sintética, se utiliza actualmente en grandes cantidades para la tintura de "denims" o "jeans".

En general los colorantes tinas son ideales para teñir artículos de algodón y la viscosa con diseños de colores vivos, especialmente en la gama de azules y verdes y colores térreos ya que otros colores, como los rojos y turquesas, son de bajo brillo. En general es recomendable blanquear y mercerizar previamente los hilados y telas de algodón para obtener tinturas de colores más brillantes. La alcalinidad residual de estos tratamientos permite teñir con los colorantes tinas en el mismo baño, con ahorro de agua de enjuagues.

Los tina resisten bastante bien a los cambios de tono que, p.ej. generalmente sufren los colorantes directos cuando se hacen postratamientos con resinas de acabado, ignífugas, impermeabilizantes, etc. Si bien son especialmente indicados para teñir artículos que requieren buena solidez a la luz y frecuentes lavados (*p.ej. toallas, lonas de playa, etc.*) se debe tener en cuenta que algunas mezclas (*especialmente la mezcla de amarillo y azul para obtener verdes*) pueden sufrir fotodegradación ("*phototendering*" y "*catalitic fading*") con cambios de color.

Los colorantes tinas a veces se usan también para teñir poliamida y colorear poliéster en sus mezclas con algodón y viscosa. Con un cuidadoso control de la alcalinidad y la temperatura también se puede teñir lana con colorantes tina.

BIBLIOGRAFÍA

- 2- "*Vat Dyes and Their Application*" J.R.Aspland, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 24, No.1 January 1992, 3er. capítulo de "A Series on Dyeing"
- 3- "*Dyeing with Vat Dyes*", C.S. Hughey, *Dyeing Primer Part 5, Textile Chemist and Colorist*, Vol. 12, May 1980.

4.2.3- Colorantes Sulfurosos o “al Sulfuro”

Los “colorantes sulfurosos” se aplican por un método similar al de los *colorantes tina* salvo que el colorante insoluble se disuelve por **reducción con sulfuro de sodio**, con o sin la adición de *carbonato de sodio*. Se agrega también *cloruro de sodio* para facilitar el agotamiento de la leuco forma. Con estos colorantes se produce también un cambio de color cuando la forma leuco es reoxidada dentro de la fibra. Como puente entre estas dos clases de colorantes tan similares en su aplicación, existe una clase intermedia que son los “colorantes tinas sulfurados” que el Color Index los clasifica como un grupo aparte. Algunos colorantes al sulfuro se comercializan en forma líquida ya pre reducida.

La gama de colores incluye amarillos, verdes, azules y negros. No hay, sin embargo, un buen rojo y los colores son en general apagados en comparación con los colorantes azo. El algodón teñido con colorantes sulfurosos adquiere cierta afinidad por los colorantes básicos y por tanto, en algunos casos, es posible hacer un sobreteñido con esos colorantes para mejorar el brillo final de la tintura. También puede mejorarse el brillo tratando el artículo teñido con *peróxido de hidrógeno* o *perborato de sodio*, a expensas de alguna pérdida en la solidez al lavado. En algunos casos el postratamiento con *bicromato de sodio* y *sulfato de cobre* mejora las solideces húmedas y a la luz. En general las tinturas con colorantes al sulfuro tienen bajas solideces al hipoclorito de sodio. Los tratamientos con resinas de acabado pueden proteger la tintura y disminuir su sensibilidad al hipoclorito de sodio.

Los colorantes sulfurosos son colorantes relativamente baratos lo que, sumado a sus buenas solideces húmedas lo que, a pesar de su sensibilidad al *hipoclorito de sodio*, les ha ganado un gran mercado, sobre todo para los *negros* y *azules*. El *Negro al Sulfuro C.I. 1* es quizás la mejor opción para teñir de negro el algodón, por su precio y lo atractivo del tono que se logra y, por estas razones, es uno de los colorantes de mayor venta para este fin.

Las soluciones de colorantes al sulfuro pueden a veces tener sustancias insolubles en suspensión lo que puede generar problemas en la tintura en “empaquetado” (*ver capítulo “03 Colorantes”*).

BIBLIOGRAFÍA

- 4- “Sulfur Dyes and Their Application” J.R.Aspland, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 24, No.3, March-April 1992, 4to. capítulo de “A Series on Dyeing”
- 5- “Dyeing with Sulfur Dyes”, L.Tigler, *Dyeing Primer Part 6*, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 12, June 1980.

4.2.4- Colorantes Azoicos

Muchos de los colorantes de los grupos ya mencionados son “azo” o “azoicos”. Los llamados propiamente “azoicos” son aquellos colorantes azo insolubles producidos directamente dentro de la fibra, por diversos procedimientos. El método más sencillo consiste en aplicar, desde una solución alcalina, un *compuesto de copulación*, generalmente una amina aromática primaria, con afinidad por la fibra. Luego se retira el exceso de solución por centrifugado y se impregna en otro baño que contiene un *compuesto diazo* (*que pueden ser bases libres o sales de diazonio*). Las partículas de pigmento que se forman dentro de la fibra son inducidas a formar agregados tratando el textil con una solución de jabón en caliente. Estos agregados de partículas de pigmento quedan así fuertemente fijadas, por retención mecánica, obteniéndose muy buenas solideces húmedas, incluida, en algunos casos, la solidez al blanqueo químico. Algunos de estos colorantes tienen también excelentes solideces a la luz. En el Color Index los dos componentes que entran en la reacción se clasifican como “*Azoic Diazo Compunds*” y “*Azoic Coupling Compounds*”.

El procedimiento data de aproximadamente 1880 en que se impregnó algodón con una solución alcalina de β -naftol y se le trató luego con una solución de p-nitroanilina diazotada para obtener una tintura de color rojo (conocida como "Para Red"). Posteriormente se usaron sustitutos del β -naftol así como también otras arilaminas y diaminas para producir una extensa gama de colores posibles. Debido a la inestabilidad de los compuestos diazoicos y la dificultad para prepararlos adecuadamente en las condiciones de una tintorería industrial, se desarrollaron también sales diazo estabilizadas. Los colorantes azoicos se usaron mucho durante la primera mitad del siglo 20, especialmente para la estampación de telas de algodón, pero luego su uso fue decayendo, debido un poco a la complejidad de los métodos de aplicación y otro poco a la aparición de los *colorantes reactivos*. Actualmente se utilizan preferentemente para obtener algunos colores especiales, rojos p.ej., que no se pueden lograr con otros tipos de colorantes.

BIBLIOGRAFÍA

- 6- "Azoic Combinations: Chemical Principles" J.R.Aspland, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 24, No.8, August 1992, 6to. capítulo de "A Series on Dyeing".
- 7- "Dyeing with Azoic Dyes", H.B. Moore, *Dyeing Primer Part 7, Textile Chemist and Colorist*, Vol. 12, July 1980.

4.2.5- Negro de Anilina

El procedimiento de producción de "negro de anilina" fue desarrollado en 1860 oxidando *clorhidrato de anilina* previamente impregnada sobre el algodón. El pigmento que se produce, de intenso color negro, queda firmemente fijado a la fibra y se obtienen solidez a la luz y al lavado excepcionalmente buenas. La constitución del "negro de anilina" es la de una *poliazina derivada de once moléculas de anilina*.

El procedimiento, que es muy económico y puede realizarse de muchas formas distintas puede, sin embargo, por el bajo pH necesario, producir la degradación de la molécula de celulosa y por tanto un deterioro en las resistencias mecánicas de los hilados y las telas de algodón que se tiñan de esta manera. Actualmente se utiliza muy poco.

BIBLIOGRAFÍA

- 8- "Aniline Black" R. Wizinger, "CIBA-GEIGY REVIEW". 1973/2

4.2.6- Colorantes Reactivos

El relativamente reciente desarrollo de los *colorantes reactivos* (1956), llamados así por unirse químicamente a la molécula de celulosa, constituyó uno de los avances más importantes de la tintura del algodón y otras fibras celulósicas. Una prueba de la unión química de estos colorantes con la fibra es que no son extraídos por solventes como la *piridina* mientras que los *colorantes directos* sí lo son fácilmente. Por otra parte, la celulosa teñida con colorantes reactivos tiende a perder su solubilidad en *soluciones cuproamoniacales*, especialmente cuando la estructura del *colorante reactivo* permite la formación de "cross linking" entre cadenas poliméricas.

Los *colorantes reactivos*, antes de reaccionar con la celulosa, pueden considerarse como colorantes directos de bajo tamaño y peso molecular, como los colorantes del grupo A, que agotan con mucha sal y tienen bajas solidez húmedas. Esto permite al colorante difundir rápidamente hacia el interior de la fibra. Una vez dentro de la fibra la reacción, con los grupos hidroxilo de la celulosa, se produce por el agregado de álcali, a la temperatura adecuada. Aquellas moléculas de colorante, que por alguna razón no reaccionan con la celulosa, deben ser retiradas por medio de un enjuague. El reducido tamaño de estas moléculas facilita también su fácil y rápida salida desde el interior de la fibra.

Los colorantes reactivos también se combinan con el **agua** por lo que, en los proceso de tintura y de estampación, se produce cierta pérdida de colorante por **hidrólisis**, lo que puede generar problemas de contaminación ambiental si no se tratan adecuadamente los efluentes de la tintorería. Puede resultar sorprendente que la gran cantidad de *grupos hidroxilos* del agua, compitiendo con los más escasos de la celulosa, no de lugar a una mayor **hidrólisis** del colorante. Sin embargo la rápida adsorción del colorante por la fibra y la menor constante de disociación de la celulosa en comparación con la del agua, sumado a ciertos factores estéricos, favorece la reacción de tintura en relación a la de hidrólisis. De todas formas, como es de esperar, el colorante hidrolizado tiene menor solidez húmeda y debe ser completamente removido con suficientes enjuagues, inmediatamente después del teñido.

Existen diferentes tipos de colorantes reactivos (*ver Sección “Clasificación de Colorantes”*) pero todos ellos poseen, en general, buenas solideces a la luz y buenas solideces húmedas, **salvo al hipoclorito**. Con ellos se obtienen tinturas de colores más brillantes que con otros tipos de colorantes de solideces equivalentes. Los procedimientos de tintura también pueden ser varios, dependiendo del tipo de colorante, pero mencionaremos solo los dos más generales: los procedimientos en **“frío”** y en **“caliente”**. Los *colorantes más reactivos* pueden ser aplicados a bajas temperaturas (30-40 °C) en baños con cloruro de sodio y, luego de 30 a 45 minutos (*durante los que el colorante es adsorbido como si fuera un colorante directo*), **se alcaliniza** el baño agregando carbonato de sodio y se completa la fijación durante una hora sin variar la temperatura. Los *colorantes de menor reactividad* se aplican en forma similar pero a mayor temperatura (60 a 100°C). En ambos casos el exceso de colorante, que no reaccionó o se hidrolizó, es retirado con un jabonado final.

La tintura con colorantes reactivos puede realizarse en forma **continua** impregnando p.ej. una tela de algodón en un baño neutro de colorante, para luego de pasarla a través de cilindros exprimidores, volver a impregnarla en una solución de soda cáustica y luego, sucesivamente, pasarla por una cámara vaporizadora, un baño de jabonado, un baño de enjuague y un secado en túnel o “rama” de aire caliente. Existen variantes de estos procedimientos básicos y p.ej. los álcalis utilizados pueden ser, según el caso, además de la soda cáustica, “ceniza de soda” (*carbonato de sodio*), metasilicato de sodio o bicarbonato de sodio. Las “pastas” para la estampación de telas de algodón, se deben formular adecuadamente según el caso, eligiendo y mezclando adecuadamente los colorantes, los espesantes, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- 9- **“Reactive Dyes and their Applications”**, J.R.Aspland, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 24, No.5 and No 6, May-June 1992, 5to. capítulo de “A Series on Dyeing”.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- 10- **“Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles”**, J.Cegarra, P.Puente y J. Valldeperas. Universidad Politécnica de Barcelona, 1981.
- 11- **“The Dyeing of Cellulosic Fibres”**, Ed. Clifford Preston, Society of Dyers and Colourists, 1986
- 12- **“Encyclopedia of Chemical Technology”**, Kirk-Othmer, Interscience Publishers, N.Y., 1963 (*Dyes, Application and Evaluation*, G.M.Ganz and J.R.Ellis)
- 13- **“Dyeing Primers”**, AATCC, 1980
- 14- **“Textile Coloration and Finishing”**, W.S.Perkins, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>
- 15- **“Manual de Tintes y Tejidos”**, Joyce Sorey, Ed. Heman Blume, Madrid

TABLA 8.18
COLORANTES PARA FIBRAS CELULÓSICAS

Colorantes aniónicos sobre fibra no iónica

TIPO DE COLORANTE	MECANISMO DE TINTURA	TIPO DE UNIÓN
DIRECTOS	Difusión y adsorción del anión colorante	Fuerzas de V. der Waals y enlaces hidrógeno
A LA TINA	1) Reducción alcalina solubilizante 2) Difusión y adsorción del leuco anión colorante 3) Oxidación insolubilizante	Retención mecánica
AL SULFURO	1) Reducción alcalina solubilizante 2) Difusión y adsorción del anión colorante 3) Oxidación insolubilizante	Retención mecánica
REACTIVOS	1) Difusión y adsorción 2) Reacción química	Enlaces covalentes
BASES AZOICAS	1) Difusión y adsorción del precursor pigmentario 2) Difusión y adsorción de la base azoica 3) Reacción química entre el precursor y la base	Retención mecánica
NEGRO DE ANILINA	1) Impregnación en medio ácido 2) Oxidación insolubilizante	Retención mecánica

4.3.0- LA TINTURA DE FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS

4.3.1- Diacetato y Triacetato de Celulosa

El acetato de celulosa se desarrolló inicialmente para ser utilizados en la industria del plástico y durante la *Primera Guerra Mundial (1914-1918)* se le utilizó como "dope" de telas de aviones. La celulosa tiene tres hidroxilos capaces de ser acetilados (*p.ej. con una mezcla de anhídrido y ácido acético*), pero completamente acetilada no es soluble en los solventes de los que se disponía en esa época. Por tanto, se producía primero el triacetato que luego se hidrolizaba parcialmente para obtener un producto que tenía 2 a 3 grupos acetilos por residuo de glucosa. La fibra producida con este polímero fue conocida como "*rayón diacetato*" o simplemente "*rayón acetato*". Años más tarde, aparece el *dicloruro de metileno*, este sí capaz de disolver el triacetato y entonces se lanza al mercado el "*rayón triacetato*", con propiedades bien diferentes a las del "diacetato" ¹.

El bloqueo de dos o tres grupos hidroxilo de la celulosa hace que el rayón diacetato carezca de afinidad por los colorantes directos. Los primeros colorantes desarrollados especialmente para teñir diacetato fueron las *ionaminas (1922)*. Consistían en aminoazos solubilizados temporariamente bajo la forma de un derivado del ácido ω -metansulfónico. El grupo solubilizante era removido gradualmente por hidrólisis y el compuesto aminoazo insoluble era absorbido por el diacetato a medida que se iba formando. Este ingenioso procedimiento tuvo éxito comercial por algunos años hasta que aparecieron los *colorantes dispersos*. Estos fueron producidos por primera vez tratando colorantes aminoazo o hidroxiazos, insolubles, con *ácido ricinoleico sulfonado* u otros agentes dispersantes. Estos nuevos colorantes, que daban suspensiones tan finas que podían confundirse con soluciones verdaderas, teñían rápidamente el *diacetato*.

Las *ionaminas* y los primeros colorantes dispersos proporcionaban una escasa gama de colores, sólo amarillos, naranjas y rojos. Los azules y negros debían obtenerse diazotando el colorante, ya adsorbido por la fibra, con β -naftol o con ácido 2:3 hidroxinaftoico. El *diacetato* pudo luego teñirse de azul, en forma más simple, con colorantes derivados de las aminoantraquinonas. Algunos de estos colorantes dispersos presentan sin embargo el fenómeno de "*gas fading*" o cambio de tono de la tela luego de teñida, debido a la acción de algunos productos químicos cuando se encuentran en relativa alta concentración como contaminantes en aire.

El triacetato es más difícil de teñir pero, con varios colorantes dispersos, la tintura puede hacerse a ebullición en lugar de a 75-80° C como debe hacerse en el caso del *diacetato*. Las empresas productoras tratan de desarrollar permanentemente desarrollar nuevos y mejores colorantes para teñir el di y el triacetato.

4.3.2- Poliamidas

La primera fibra sintética fue sintetizada por W.H. Carothers y la empresa Du Pont la lanzó al mercado en 1938 con el nombre de Nylon. Hay varios tipos de "Nylon": el más común es el "Nylon 6.6" que se obtiene por polimerización de una *sal de ácido adípico y hexametildiamina*, calentando a 280 °C en una atmósfera inerte. El polímero lineal debe alcanzar valores de peso molecular entre 12.000 y 20.000 y de manera que la viscosidad obtenida permita la producción de filamentos a través de un "spinière". Esto se logra agregando cantidades adecuadas de un

¹ El triacetato tiene punto de fusión más alto y puede ser planchado y fijado a temperaturas más altas que el diacetato, sin pérdida de lustre. Puede entonces ser usado para confeccionar artículos "plisados" que, si bien no tienen la resistencia y la durabilidad de similares hechos con "nylon" o poliéster, son mucho más baratos.

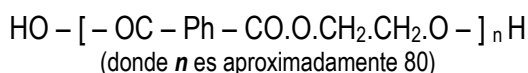
estabilizador monofuncional como el *ácido acético* (o también agregando un ligero exceso de *ácido adípico*) de manera que en una determinada etapa del proceso (que dependerá de la cantidad de estabilizador agregado) las moléculas poliméricas tendrán un grupo ácido en cada extremo y no habrán ya suficientes grupos aminos disponibles para continuar la reacción.

Otro "nylon" es el "Nylon 6" que se obtiene por polimerización de *caprolactama* y tiene una estructura del tipo $H[-HN(CH_2)_5CO-]_nOH$. Su proceso de producción es algo más sencillo que el del Nylon 6.6. Tiene mejor elasticidad, mejor resistencia al calor y a la luz y es más fácil de teñir que el "Nylon 6.6". Sin embargo su punto de fusión es más bajo de manera que los artículos de "Nylon 6" deben plancharse a baja temperatura y con cuidado.

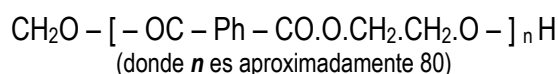
El "Nylon 6.6" y el "Nylon 6" se pueden teñir con **colorantes dispersos**, **ácidos** y con **algunos directos**. En general los colorantes dispersos dan tinturas de mejor igualación que los colorantes ácidos. Muchas veces ocurre que en tejeduría se utilizan diferentes partidas de filamentos de "nylon", con diferentes afinidades por el colorante. En esos casos, aunque estas diferencias de afinidad sean pequeñas, en la tela teñida pueden aparecer "barras" de diferentes intensidad de color. Este defecto, conocido como "barrado", generalmente se pone muy de manifiesto cuando la tela se tiñe con *colorantes ácidos*, pero se disimula bastante bien cuando se tiñe con *colorantes dispersos*. Sin embargo, los *colorantes ácidos* - a pesar de que deben teñirse con productos auxiliares que mejoren su igualación - se prefieren cuando es necesario que el artículo tenga muy buenas solideses húmedas (p.ej. *calcetines, medias, ropa deportiva, etc.*). Debido a su carácter hidrófobo, los "nylon" teñidos con *colorantes ácidos* tienen mejor resistencia a los tratamientos húmedos que la lana teñida con esos mismos colorantes. La solidez a la luz, en cambio, es ligeramente menor en los "nylon" que en la lana. La tintura de mezclas de lana y poliamidas es difícil pues, los colorantes, aunque sean aptos para teñir ambas fibras, suben a ellas con velocidades muy distintas. Debe tenerse en cuenta también que en baños de tintura con alta concentración de ácido acético o fórmico, o en general de pH bajo, la resistencia a la tracción de las poliamidas disminuye.

4.3.3- Poliésteres

Poco tiempo después de que *Carothers* obtuviera la primer fibra poliamida, *J.R. Whinfield* y *J.T. Dickson* de *Calico Printer's Association* obtuvieron, esterificando *etilenglicol* con un ácido aromático dibásico, el *ácido tereftálico*, un polímero o poliéster, con el que se podían producir fibras de excelentes propiedades.



Estas fibras poliéster, fueron lanzadas al mercado por primera vez por la *Imperial Chemical Industries (ICI)*, en 1941, bajo el nombre comercial de *Terylene*. Desde entonces esta fibra es producida en grandes cantidades por varias empresas y con diferentes nombres comerciales. Posteriormente se utilizó *dimetiltereftalato* en lugar de *ácido tereftálico*, con lo que el polímero presenta la siguiente estructura:



El *dimetiltereftalato* se puede obtener con mayor grado de pureza que el *ácido tereftálico* y por lo tanto se le prefiere pues, la pureza de los monómeros es de gran importancia para la producción de altos polímeros.

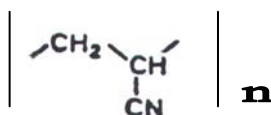
La tintura de las fibras poliéster presenta problemas pues el polímero es altamente hidrofóbico, carece de grupos reactivos y sus cadenas moleculares están tan próximas y "empaquetadas"

que no dejan lugar para acomodar las moléculas de colorante. Esta dificultad se resuelve principalmente de dos maneras: **1)** utilizando colorantes dispersos aptos para teñir a alta presión y temperatura (120-135°C) ó **2)** utilizando colorantes dispersos capaces de teñir a presión atmosférica pero en presencia de solventes pesados o “plastificantes”, conocidos como “carriers”. Tanto la acción de la alta temperatura como la de los “carriers” resulta en la separación de las cadenas moleculares lo que facilita la penetración y la difusión de las moléculas del colorante disperso. El empleo de “carriers” genera en la tintorería algunos problemas de contaminación e higiene ambiental y solo es recomendable para la tintura de pequeñas partidas. Para grandes partidas resulta mucho más económico y conveniente la tintura a alta temperatura y presión, conocida generalmente y brevemente como tintura “HT”(“*High Temperature*”). Las moléculas de poliéster muy cortas u **oligómeros**, que están siempre presentes como subproductos de la polimerización, generan problemas de solidez húmedas bajas, manchado, etc. Los oligómeros, cuando están presentes, deben eliminarse con un lavado caliente, a pH 5.5, antes de teñir.

Para teñir a lo ancho grandes metrajés de tela de poliéster, en general es conveniente utilizar el proceso *Termosol*, que consiste en impregnar la tela en un solvente (*p.ej. Cellosolve*), un espesante y los colorante dispersos necesarios para obtener el color elegido. La tela luego de impregnada se exprime y se *seca*, a lo ancho, en forma continua para luego *calentarla* a 175-200°C durante un minuto. En ese tiempo el colorante es adsorbido y fijado. Los colorantes empleados en el proceso *Termosol* deben seleccionarse cuidadosamente ya que no deben **sublimar** a las altas temperaturas del proceso. La tela es luego lavada para retirar el exceso de colorante no fijado. El termofijado puede hacerse con vapor o con aire caliente. En general, con aire se pueden alcanzar temperaturas más altas, a menor costo, que calentando con vapor.

4.3.4- Poliacrílicas

La primera fibra acrílica fue desarrollada por la firma DuPont en los años 1940 a 1950 y salió al mercado con el nombre de “Orlon”. Se trataba de un homopolímero de **acrilonitrilo** que, si bien era barato y presentaba alta tenacidad y resistencia como el Nylon y el poliéster, no era fácil de teñir y era muy inflamable.



Donde *n* tiene valores entre 600 y 2000

Copolimerizando el acrilonitrilo con otros monómeros como el *cloruro de vinilo* o de *vinilideno* se mejora la capacidad tintórea y se baja la inflamabilidad del material. A las fibras hechas por copolimerización, en donde el acrilonitrilo participa en no menos del 50% pero no más del 85%, se les llama fibras “*modacrílicas*”.

La presencia de grupos terminales aniónicos hace que las fibras poliacrilonitrilas se puedan teñir con **colorantes básicos**, obteniéndose en general con ellos, buen brillo, intensidad de color así como buenas solidez húmedas y a la luz. Con **colorantes dispersos** se pueden obtener solo colores pastel lo que sumado a menores solidez húmedas hace que se utilicen relativamente poco para la tintura de estas fibras.

Muchos otros monómeros (*como p.ej. el cloruro de vinilo*) han sido copolimerizados con el acrilonitrilo para modificar las propiedades finales del polímero, como p.ej. su inflamabilidad, sus propiedades mecánicas y tintóreas, etc. La inclusión de componentes básicos, p.ej., permitió obtener algunos polímeros que se pueden teñir con **colorantes ácidos**.

4.3.5- Poliiolefinicas

El *polietileno* y el *polipropileno* son polímeros relativamente baratos pero muy hidrofóbicos y difíciles de teñir. El *polietileno*, por su tacto céreo y bajo punto de fusión no es muy utilizado para producir fibras textiles. En cuanto al *polipropileno*, solo las formas isotácticas - es decir aquellas con todos los grupos metilo orientados hacia el mismo lado de la cadena principal - poseen una alta cristalinidad y son aptas para producir fibras textiles.

El *polipropileno* se puede teñir con algunos colorantes dispersos pero se obtienen colores pastel muy débiles. Se han intentado también modificaciones de su estructura para conferirle cierta afinidad por los colorantes ácidos y básicos. Pero, por el momento, el procedimiento más adecuado es la **coloración en masa**. Esta consiste en el agregado al polímero fundido - previo a la formación del filamento en el "spinierte" - de pigmentos en polvo. Los pigmentos deben ser adecuadamente seleccionados para resistir todas las etapas subsiguientes del proceso, su tamaño de partícula debe controlarse estrictamente para evitar obstrucciones en el "spinierte" y el mezclado debe hacerse cuidadosamente para evitar la formación, en el filamento, de zonas irregulares y más débiles.

4.3.6- Poliuretánicas

Son fibras constituidas por un polímero que debe contener no menos del 85% de grupos poliuretano (-- NHCOO --) en su estructura. Poseen propiedades elásticas similares al caucho. Se conocen también con los nombres genéricos de fibras elastómeras o "spandex". Las fibras poliuretánicas se tiñen con relativa facilidad con colorantes ácidos pero también con algunos colorantes básicos y dispersos.

La "**Lycra**" es la fibra elastómera que DuPont comenzó a producir en 1963. Es un copolímero con segmentos "blandos" (*glicol*) y "rígidos" (*diisocianato*). Se obtiene por disolución en solventes adecuados, se pasa por "spinierte", se evapora y recupera el solvente ("*wet spinning*"). Se produce con un "estiro" controlado y presenta grandes ventajas frente a las gomas naturales ya que es más estable, más fuerte y se puede teñir. Estrictamente no es una fibra textil convencional sino un "soporte" y se usa siempre como filamento mezclado con otras fibras. Puede ser estiradas hasta un 600% o más. Las mezclas más comunes son con algodón, lana, lino, seda, acetato, viscosa, etc. Su uso principal es en la producción de telas elásticas para mallas de baño, prendas deportivas, medias, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "**Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles**", J.Cegarra, P.Puente y J. Valldeperas. Universidad Politécnica de Barcelona, 1981.
- 2- "**Dyeing of Synthetic Polymers**", Dyers Co. Publications Trust, The Society of Dyers and Colourists, Perkin House, 82 Grattan Road, Bradford, West Yorkshire BD1 2JB, England
- 3- "**Textile Coloration and Finishing**", W.S.Perkins, Woodhead Publishing Ltd., <sales@woodhead-publishing.com>
- 4- "**Manual de Tintes y Tejidos**", Joyce Sorey, Ed. Heman Blume, Madrid

5.0.0- EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE TINTURA INDUSTRIAL

Para lograr un teñido de buena calidad (ver Secc. 1.0.0) deben emplearse equipos de tintura adecuados a la forma de presentación del material textil (*hilado, tela, prenda, etc.*). Por otra parte, el tamaño y la frecuencia de las partidas determinarán la programación y la organización del trabajo dentro de la tintorería y si es conveniente teñir en forma **discontinua** (por "agotamiento") o a la **continua** (por "impregnación").

TABLA 8.19
FORMAS DE PRESENTACIÓN DEL MATERIAL TEXTIL EN LA TINTORERÍA

MATERIAL TEXTIL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MATERIAL EN RAMA (p.ej. Lana) MECHA PEINADA (“Top”)	<p>Es más fácil corregir tinturas fuera de tono</p> <p>Se obtiene mejor penetración de la tintura</p>	<p>El desperdicio en hilandería es de mayor costo</p> <p>Se debe limpiar a fondo los equipos de hilatura. Los “tops” deben ser repelinados</p>
HILADO (conos, bobinas, madejas, plegadores de urdimbre)	<p>En tejeduría se pueden obtener diseños más complejos, como p.ej. telas escocesas, etc.</p> <p>En la hilandería no se producen desperdicios de alto costo.</p>	<p>No es fácil corregir diferencias de color.</p> <p>Las irregularidad en la densidad de empaquetado de conos y bobinas produce diferencias de igualación de color.</p>
TELA (en “cuerda” y “a lo ancho”) PRENDAS (artículos confeccionados)	<p>Mayor velocidad de respuesta a las demandas del mercado.</p> <p>Menor costo financiero: se almacena material crudo y se tiñe contra pedido.</p>	<p>Las diferencias de color, de igualación, manchas, etc., son de difícil solución.</p>

NOTA: Se debe tener presente que el proceso de tintura implica siempre un mayor o menor ataque a la fibra textil, que se traduce en una disminución de sus resistencias mecánicas (p.ej. resistencia a la tracción, al desgarre, etc.)

TABLA 8.20 - TINTURA POR AGOTAMIENTO Y POR IMPREGNACIÓN

POR AGOTAMIENTO	Proceso discontinuo ("batch"). Las relaciones de baño van de 1/3 a 1/60
POR IMPREGNACIÓN	Proceso continuo. Las relaciones de baño van de 1/0,6 a 1/1,2

TABLA 8.21- EQUIPOS DE TINTURA

	MATERIAL TEXTIL QUIETO	MATERIAL TEXTIL EN MOVIMIENTO
BAÑO QUIETO	1	3
BAÑO EN MOVIMIENTO	2	4
1 MATERIAL Y BAÑO AMBOS QUIETOS	VAPORIZADORES Telas que previamente han sido estampadas o teñidas por impregnación	
2 MATERIAL QUIETO Y BAÑO EN MOVIMIENTO	AUTOCLAVES Floca, mecha peinada ("tops"), hilado en conos, hilado en bobinas, tela en rollos cilíndricos (en "plegador")	
	ARMARIOS para hilado en madejas	
3 MATERIAL EN MOVIMIENTO Y BAÑO QUIETO	BARCAS DE TORNIQUETE ABIERTAS tela "en cuerda"	
	"JIGGERS" tintura de tela "a lo ancho"	
	"FOULARDS" o "PADS" Tintura "por impregnación" (para telas, tintura "a lo ancho")	
4 MATERIAL Y BAÑO AMBOS EN MOVIMIENTO	BARCAS DE TORNIQUETE, "JETS", "OVERFLOWS" tela "en cuerda"	
	TÚNEL "SERRACANT" para mechas ("tops")	

TABLA 8.22
ALGUNOS EQUIPOS DE TINTURA RECOMENDABLES COMO LAS
MEJORES OPCIONES DE ACUERDO AL TIPO DE TELA A TEÑIR

TIPO DE TELA		BARCA DE TORNIQUETE	AUTOCLAVE	"JIGGER"	"JET"
Tejido de punto de poliéster, filamento continuo texturizado	tejido liviano	-	+ (HT)	-	+(HT)
	tejido pesado	-	-	-	+
Tejido de punto muy liviano, sin relieves, hilado de fibra discontinua	partidas chicas	+	-	-	-
	partidas grandes	-	+	-	-
Tejido de punto de lana y/o acrílica	todo tipo	-	(+)	-	+ (overflow)
Telas planas de algodón y/o viscosa	partidas grandes	-	+	-	-
	partidas chicas	+	-	-	+
Telas planas de poliamida y/o acetato	todo tipo	-	(+)	+	-

5.1.0- TINTURA POR AGOTAMIENTO

En el **sistema “baño de tintura / fibra textil”** podemos imaginar, en la fase líquida, la existencia de tres zonas, a contar desde la interfase con el textil: **1)** una *capa difusional* en la que no hay movimiento del baño y solo es posible la difusión molecular pura, **2)** una *capa hidrodinámica*, de flujo laminar ($Re < 400$) y, finalmente, **3)** una *zona de flujo turbulento* ($Re > 400$). El espesor de la *capa difusional* es del orden molecular y el de la *capa hidrodinámica* se estima unas diez veces mayor a esta. Estos espesores dependerán mucho del número de Reynold existente en la zona de turbulencia. La **velocidad instantánea de tintura (v)** sería:

$$v = \Delta\mu / R \quad (1)$$

donde $\Delta\mu$ es la diferencia de *potencial químico instantáneo* entre el colorante en el baño de tintura y en el textil, y R es la resistencia a la tintura (*situación similar a $i = \Delta V / R'$* donde i es intensidad de corriente, ΔV diferencia de *potencial eléctrico* y R' *resistencia eléctrica*).

En la **tintura por agotamiento** la resistencia R dependerá fundamentalmente de la *velocidad de difusión del colorante (molécula, anión o catión colorante, según el caso)*. La *velocidad de difusión en la fase líquida* dependerá a su vez de muchos factores: **1)** el número de Reynolds en la zona turbulenta; **2)** de la relación de baño RB ; **3)** de la temperatura T ; **4)** del área de la interfase entre el textil y el baño. **5)** del pH ; **6)** de la concentración de electrolitos en el baño de tintura, etc. La *velocidad de difusión en la fase sólida* dependerá fundamentalmente de: **1)** la higroscopicidad del textil y, **2)** la relación cristalinidad/amorficidad que presente la estructura interna de la fibra.

En la **tintura por impregnación**, después que el textil pasa por la batea o “pastera” y después es exprimido entre rodillos, podemos considerar que, en la fase líquida, no existe una zona de turbulencia. En las etapas siguientes de **vaporizado** o **termosoleado** - *en que la temperatura necesaria se alcanza más económicamente con aire caliente, especialmente para el poliéster y sus mezclas* - el colorante se moverá solo por **difusión pura**, primero en una fase líquida quieta, sin turbulencia ni flujo laminar y, luego, en la fase sólida del interior de la fibra. En el caso de la **estampación con colorantes solubles** (y también los dispersables), ocurre algo similar. No así en el caso de la **estampación con pigmentos insolubles** en que estos simplemente se depositan sobre la superficie de la tela y son luego fijados allí por un ligante o filmógeno polimérico, como cualquier recubrimiento superficial, p.ej. una pintura.

Si consideramos la tintura textil como si fuera una **reacción química de primer orden**, en donde la velocidad de reacción es directamente proporcional a la concentración de la sustancia reaccionante, tendremos:

$$v = -dC/dt = kC \quad (2)$$

donde v , velocidad de reacción; C , concentración de la sustancia reaccionante; t , tiempo; k , constante de velocidad de reacción con las dimensiones de recíproca de tiempo. El signo negativo indica que C disminuye con el tiempo al igual que la velocidad de reacción. Si consideramos al colorante en el baño (σ) como el reactante y al colorante en la fibra textil (ϕ) como el producto resultante, manteniendo la temperatura T y la relación de baño RB constantes, tendremos:

$$v = -dC_{\sigma} / dt = k ([D]_{\phi} - C_{\phi t}) \quad (3)$$

$$v = +dC_{\phi t} / dt = k ([D]_{\phi} - C_{\phi t}) \quad (4)$$

donde $C_{\sigma t}$ es la concentración del colorante en el baño al tiempo t ; $C_{\phi t}$ es la concentración del colorante en la fibra al tiempo t ; $[D]_{\phi}$ es la concentración del colorante en la fibra al equilibrio

final. Si $[D]_{\phi} > C_{\phi t}$ hay tintura, si $[D]_{\phi} < C_{\phi t}$ hay "desmontado" o pasaje de colorante de la fibra al baño.

Si integramos la expresión (2) entre tiempo 0 y t, tendremos:

$$\int dC/C = k \int dt$$

$$-\ln C/C_0 = \ln C_0/C = kt \quad ; \quad \log C_0/C = kt / 2,303 \quad ; \quad \log C = \log C_0 - (kt / 2,303)$$

El tiempo de media tintura, $t_{1/2}$, será cuando $C = \frac{1}{2} C_0$ y entonces $\log C_0/C = \log 2$ y

$$t_{1/2} = (2,303/k) \log 2 = 0,693/k = k' \text{ (una nueva constante)}$$

Es decir que, si la tintura textil fuera similar a una reacción de primer orden, el tiempo de media tintura sería una constante y llevaría el mismo tiempo reducir la concentración del colorante en el baño de, p. ej., 1,0% a 0,5%, que de 0,1% a 0,05%, etc. Dicho en forma más general, **el tiempo necesario para completar un porcentaje dado de la tintura es independiente de la concentración inicial del colorante en el baño.**

Consideremos ahora el caso más general de la **tintura por agotamiento con circulación del baño de tintura**. Supongamos un cilindro de material textil de sección constante S , donde x mide el largo o espesor del textil en el sentido del flujo del baño (Figura 8.31)(ref. 1).

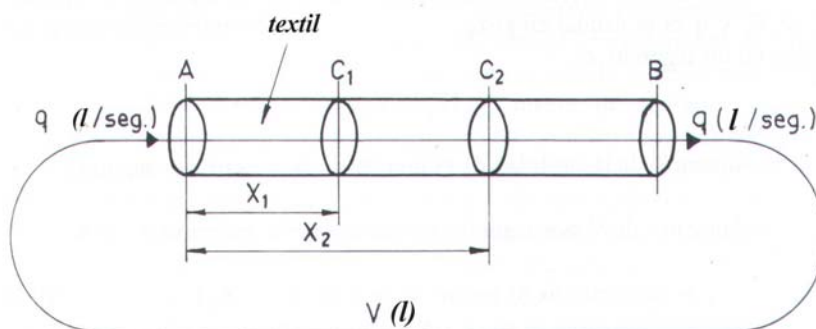


Figura 8.31

Si la temperatura y la relación de baño son constantes, para un dado período de tiempo $\Delta t = t_2 - t_1$, tendremos:

$$C_{\phi t_2} m (x_2 - x_1) = q (C_{\sigma t_1} - C_{\sigma t_2}) \quad (5)$$

$$(C_{\sigma t_1} - C_{\sigma t_2}) / (x_2 - x_1) = C_{\phi t_2} m / q \quad (6)$$

donde:

$x_2 - x_1$, espesor (a S cte) atravesado por el baño en $\Delta t = t_2 - t_1$, p.ej. en cm/s

m , peso del textil por unidad de longitud a S constante, p.ej. en g/cm

q , flujo volumétrico, en p.ej., l/s

$C_{\phi t_2}$, concentración del colorante en la fibra, p.ej. en g/g , en el instante t_2

$C_{\sigma t_1}$, concentración del colorante en el baño, p.ej. en g/l , en el instante t_1

$C_{\sigma t_2}$, concentración del colorante en el baño, p.ej. en g/l , en el instante t_2

La expresión (6) puede transformarse en: $dC_{\sigma t}/dx = (m/q) dC_{\phi t}$ (7) y sustituyendo $dC_{\phi t}$ de acuerdo a la expresión (4), tenemos:

$$dC_{\phi t}/dx = (mk/q) ([D]_{\phi} - C_{\phi t})dt \quad (8)$$

expresión que nos permitiría conocer las **diferencias de concentración del baño, entre un punto y otro del textil, en cualquier instante**, y por tanto nos permitiría evaluar las **diferencias de igualación, entre un punto y otro del textil, en cualquier instante**.

$dC_{\phi t}/dx$ es función de m , k y q y se puede establecer un **número adimensional q/kV que será característico para cada sistema de tintura**, ya que:

V , el volumen total del baño, que para una dada RB es función de m ;

q , el flujo volumétrico del baño, que está dado por el caudal volumétrico de la bomba en su punto de trabajo (ver "Impulsores");

k , la constante de "velocidad de reacción", está determinada por el tipo de colorante y fibra textil en cuestión.

Si definimos un "**factor de igualación**" $I = C_{\phi \text{mín}} / C_{\phi \text{máx}}$ como la relación entre la menor y la mayor concentración de colorante en cualquier parte del textil, podremos establecer relaciones como las que aparecen en la *Figura 8.32* que nos muestra que **cuanto más cerca de 1 esté I y mayor sea q/kV , mejor será la igualación**. El número q/kV será mayor cuanto mayor sea q (flujo volumétrico del baño), cuanto menor sea V (el volumen del baño) o RB (la relación de baño) y cuanto más chica sea k , es decir, cuanto menor sea la afinidad instantánea del colorante.

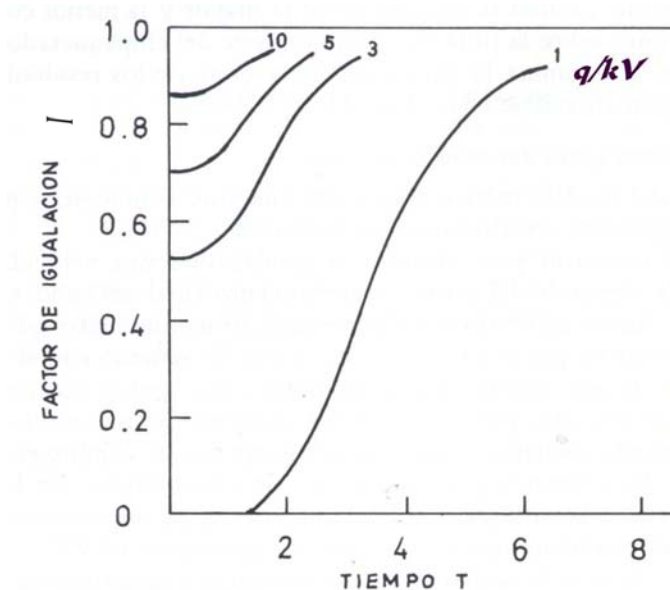
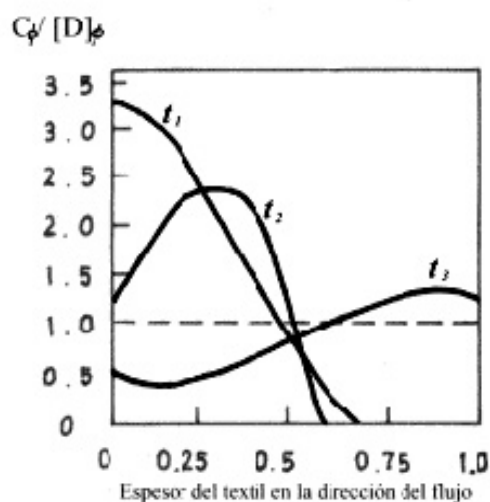
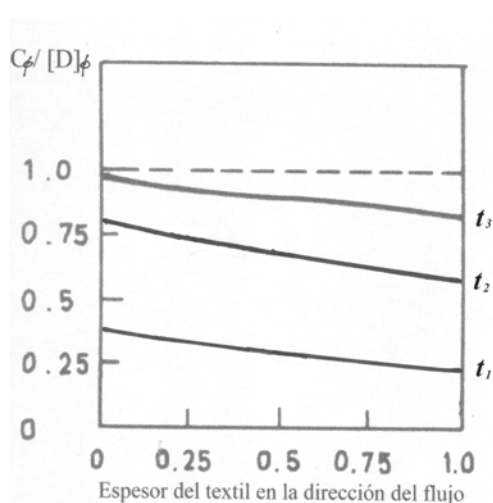


Figura 8.32

(ref. 1, "Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles", J. Cegarra, P. Puente, J. Valdeperas)

La afinidad del colorante es de fundamental importancia para la igualación final de la tintura. Las *Figuras 8.33* y *8.34* que aparecen más abajo son ilustrativas sobre ese tema de gran importancia práctica para el tintorero. En ellas la concentración del colorante en la fibra se expresa como fracción de la concentración final de equilibrio $C_{\phi}/[D]_{\phi}$ (concentración actual sobre concentración en el equilibrio que tiende a 1). Se supone T (temperatura), q/kV y la relación de baño RB , constantes.



tiempos $t_3 > t_2 > t_1$

Figura 8.33

Colorante de **baja afinidad**
Agotamiento final : 50%

(Tomado de ref. 1, "Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles",
J. Cegarra, P. Puente, J. Valleperas)

Figura 8.34

Colorante de **alta afinidad**
Agotamiento final : 98%

A la cantidad de veces que el baño pasa a través del textil, q / V , se le llama "**ciclos**" o cantidad de "**contactos**". Se considera en general, que con 100 "**ciclos**" o "**contactos**" una tintura por agotamiento debería quedar igualada. Una mayor cantidad de "**ciclos**" o "**contactos**" podría afectar, p.ej., la estructura de una tela delicada así como a la economía de la tintura. Para lograr una buena igualación en 100 "**contactos**" el colorante debería agotar entonces, un 1 % por "**contacto**". Si este agotamiento es mayor al 1 % es posible recurrir a auxiliares retardantes y/o a la regulación controlada de la temperatura, el pH o a la dosificación de electrolito o del mismo colorante.

Las consideraciones que hemos expuesto hasta ahora son aplicables en general a toda tintura por agotamiento. Sin embargo, el caso que presenta más problemas de igualación es el de la tintura por agotamiento en "**empaquetado**", en la que el textil, p.ej. una bobina de hilado o un rollo de tela, está quieto y el baño en movimiento pasando a través de él. En esos casos la *geometría del empaquetado* textil puede afectar la igualación.

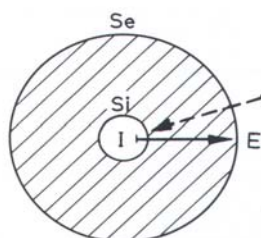


Figura 8.35

Si q es el *flujo volumétrico* (en p.ej. *litros/min*) y S_i y S_e las superficies interior y exterior (en p.ej. cm^2), respectivamente, del empaquetado cilíndrico (Figura 8.35), tendremos que los *flujos*

volumétricos por unidad de área, es decir las velocidades lineales de flujo, f (en p.ej. litros/cm²), serán: $f_i = q / S_i$ y $f_e = q / S_e$. Como $S_e > S_i$, tendremos que $f_i > f_e$.

Al haber diferencias de flujo volumétrico por unidad de área las posibilidades de que existan desigualdades de tono aumentan. Para atenuar este efecto se recomienda, en general, invertir la dirección del flujo, una vez por “ciclo” o “contacto”.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- “Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles”, J. Cegarra, P. Puente, J. Valldeperas. Universidad Politécnica de Barcelona, Barcelona, 1980.
- 2- “The Theory of Coloration of Textiles, Ed. by Alan Johnson, Society of Dyers and Colourists, Bradford, England, 1989

5.1.1- IMPULSORES

Los impulsores utilizados en los equipos de tintura son en general bombas centrífugas, bombas hélices o hélico-centrífugas. Para invertir el sentido de circulación con una bomba centrífuga es necesario instalar una válvula de 4 pasos en el circuito. En cambio con las bombas hélice o hélico-centrífuga basta con invertir el sentido de rotación de la bomba.

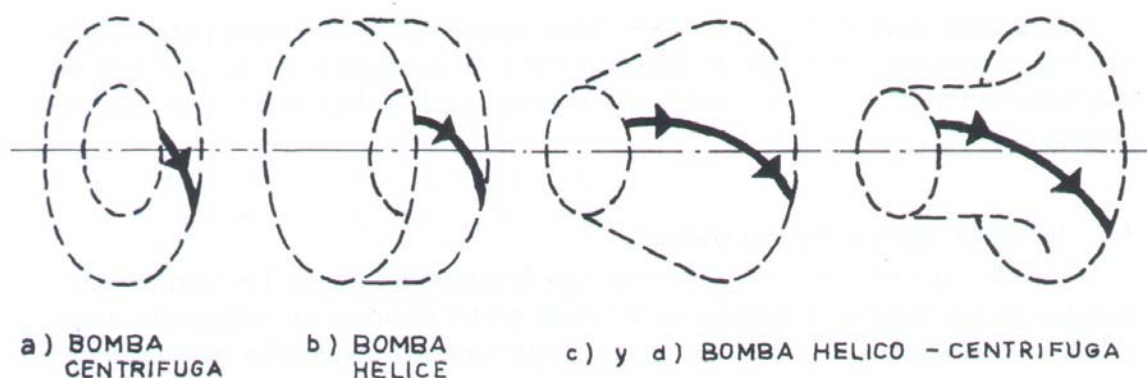


Figura 8.36

(ref. 1, “Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles”, J. Cegarra, P. Puente, J. Valldeperas)

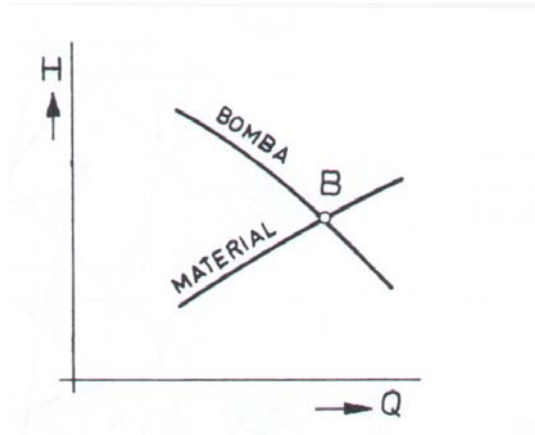


Figura 8.37 (Ref. 1)

Figura 8.37

Las bombas deben funcionar en una “zona de trabajo” correcta. Esta “zona de trabajo” estará determinada por la curva de la bomba y la curva de presión vs. caudal del empaquetado textil.

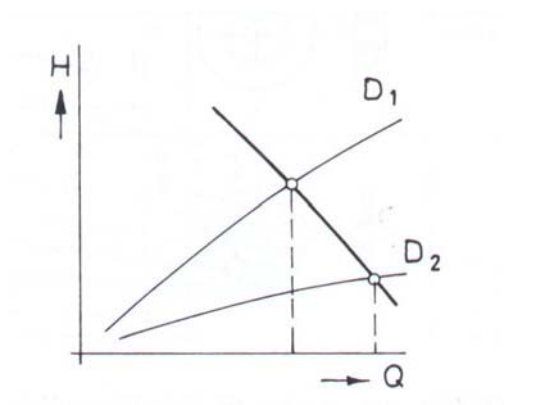


Figura 8.38 (Ref. 1)

Figura 8.38

“Zonas de trabajo” para una misma bomba y un mismo material textil, pero éste en diferentes condiciones de “empaquetado”, o p.ej. en diferentes condiciones de temperatura de baño.

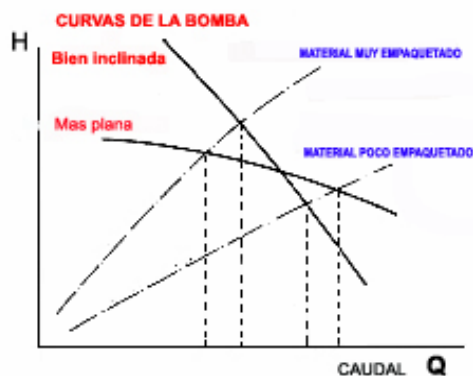


Figura 8.39 (Ref. 1)

Figura 8.39

Con bombas cuyas curvas de trabajo sean inclinadas se producen menores variaciones de caudal al cambiar la densidad de empaquetado del material. Las variaciones de caudal excesivas, en partes del textil con diferencias de densidad, pueden producir desigualdades de tono. Por lo tanto, estas bombas son preferibles a las con curvas más horizontales.

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA VORTEX

(ref. 1, "Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles", J. Cegarra, P. Puente, J. Valldeperas)

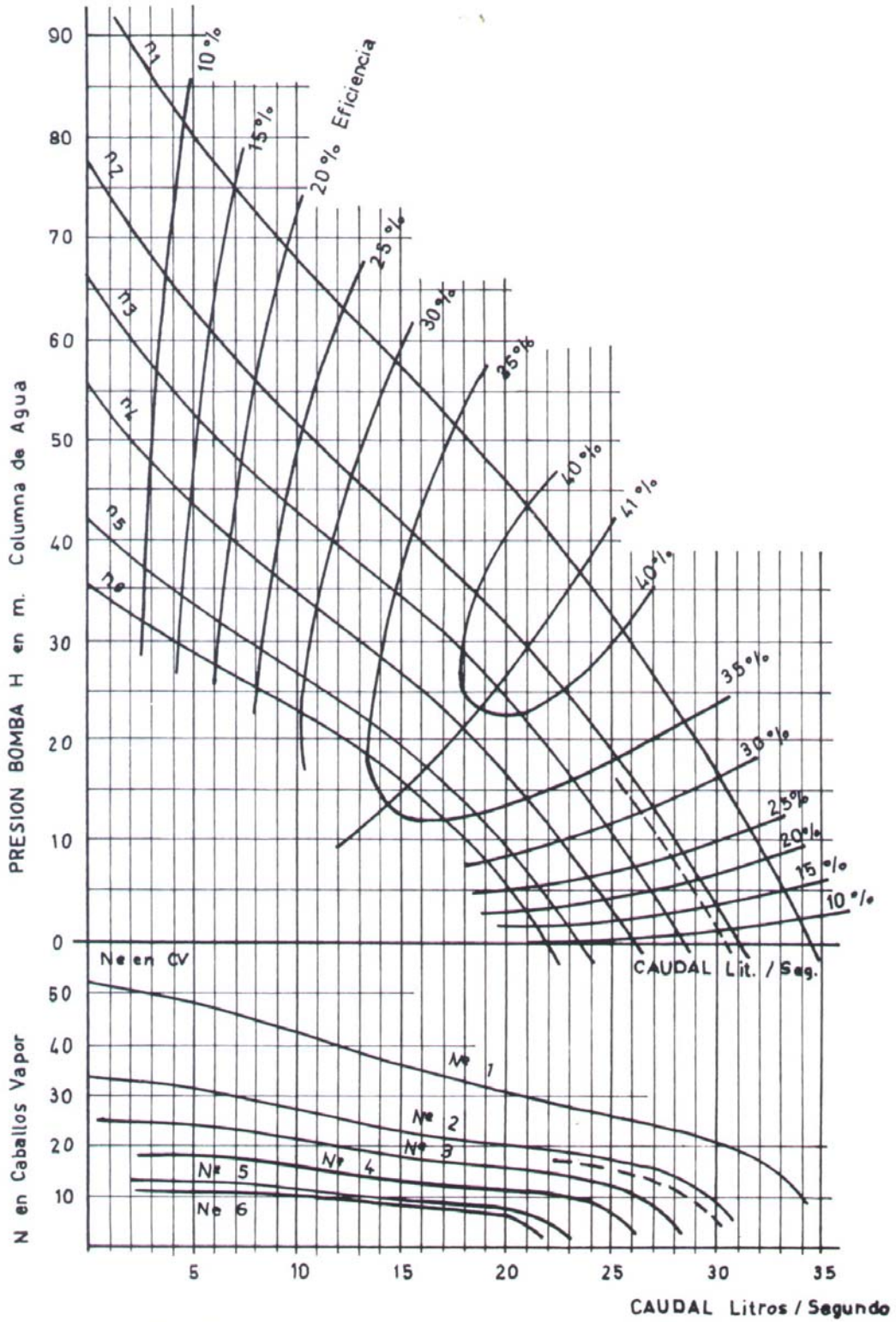


Figura 8.40

TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS IMPULSORES UTILIZADOS EN LOS EQUIPOS DE TINTURA

(ref. 1, "Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles", J. Cegarra, P. Puente, J. Valldeperas)

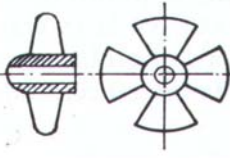
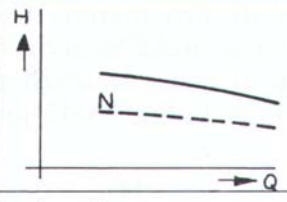

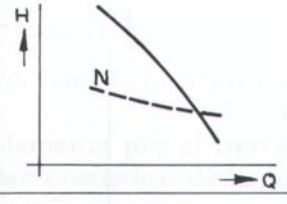
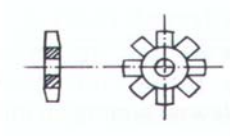
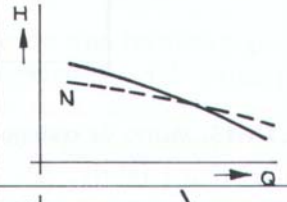
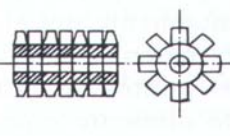
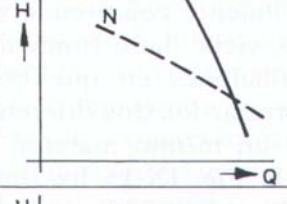

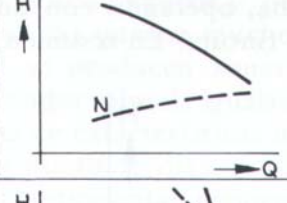


TIPO DE BOMBA	FORMA DEL ROTOR	CURVA CARACTERÍSTICA	Ω_s
Bomba hélice con bajo número de revoluciones y gran diámetro			No comparable.
Bomba hélice con elevado número de revoluciones y pequeño diámetro			120-500
Bomba axial un escalonamiento			100-160
Bomba axial varios escalonamientos			50-100
Bomba centrífuga			10-80
Bomba Vortice			No comparable

Figura 8.41

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles", J. Cegarra, P. Puente, J. Valldeperas. Universidad Politécnica de Barcelona, Barcelona, 1980

5.2.0- AUTOCLAVES

Se utilizan para teñir floca, “tops”, hilado en conos, hilado en bobinas y tela en plegador. Es una tintura en “**empaquetado**”, en la que **el textil está quieto y el baño en movimiento**.

TABLA 8.23- Características generales de las autoclaves

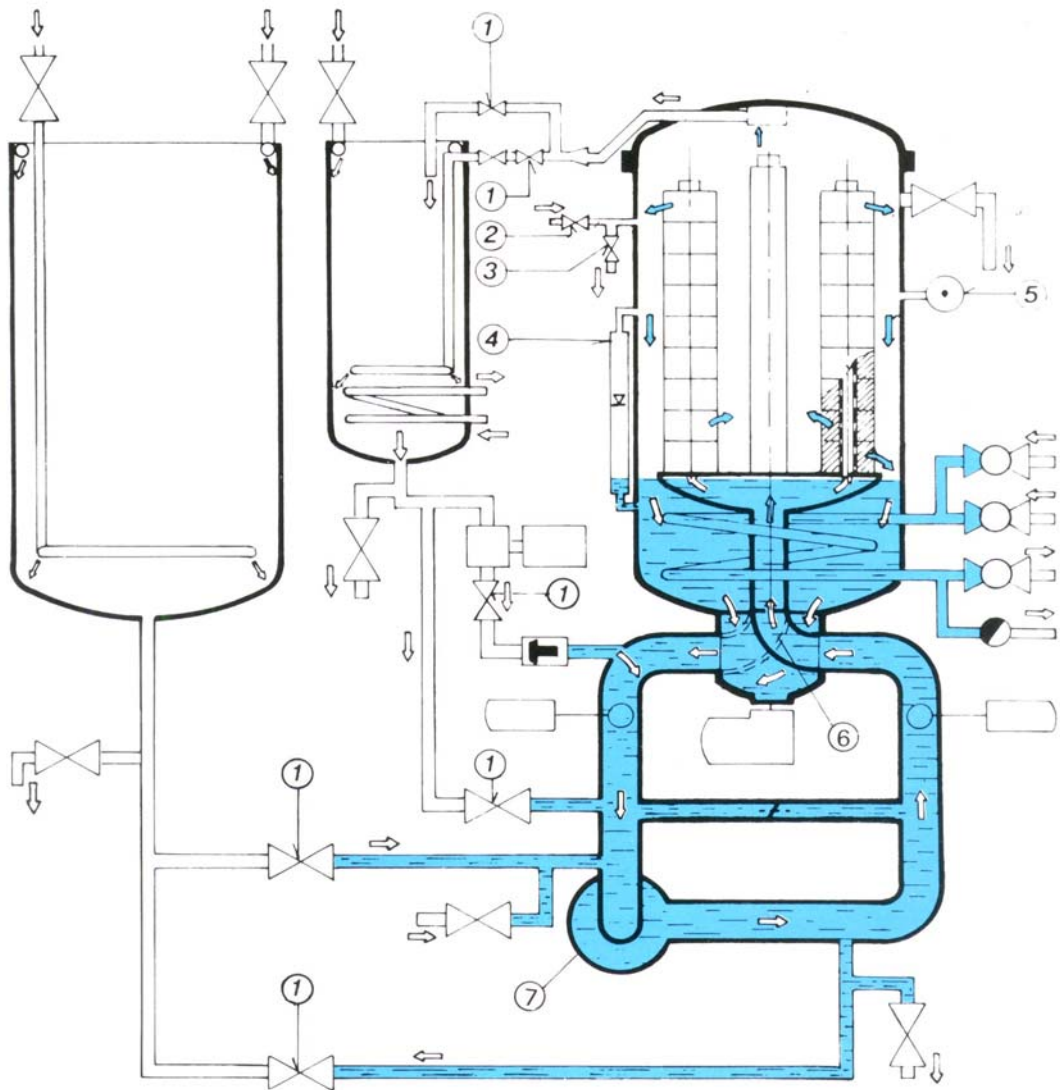
<ul style="list-style-type: none"> • Es posible alcanzar temperaturas de 130 °C a 140 °C. En general pueden también trabajar a presión atmosférica y a 100 °C • Deben contar con una bomba de circulación, de caudal y presión suficiente. Si la bomba es centrífuga se debe disponer de una válvula de 4 pasos que permita los cambios del sentido de circulación (<i>si la bomba es hélico-centrífuga reversible no se necesitará la válvula de 4 pasos</i>). • Deben tener un recipiente de expansión que opere a la misma presión que todo el sistema. A través del tanque de expansión se pueden agregar los productos químicos. • Deben contar con un sistema que imprima una presión estática superior a la presión de vapor del agua, a la máxima temperatura de tintura del equipo. Esto se puede lograr: 1) introduciendo aire comprimido en el tanque de expansión o, 2) con una bomba auxiliar. • Deben contar con dispositivo para toma de muestras, intercambiadores externos de calor (<i>calentamiento y enfriamiento</i>) y porta-materiales adecuados.

TABLA 8.24 - Portamateriales

Todos poseen perforaciones que permiten la circulación del baño a través del material textil

CANASTOS	<ul style="list-style-type: none"> • Para la tintura de floca y “tops”. • En este caso se pueden tolerar pequeñas diferencias de igualación que se corregirán en la hilandería, mezclando el material. Si la desigualación es muy grave, por mal empaquetado, con fugas o vías preferenciales, se debe corregir. • En general no se recomienda la inversión del flujo del baño de tintura: se prefiere que éste sea de adentro para afuera para evitar que el material se apriete. • Densidades de carga recomendadas: 250-300 g/dm³
SOPORTES	<ul style="list-style-type: none"> • Para conos y bobinas de hilado. Pueden ser rígidos o elásticos. Es recomendable usar flujo alternado para evitar diferencias de igualación entre la parte interna y externa del cono. Los conos o bobinas armados sobre estos soportes se colocan luego en otro porta-material con “espadas” perforadas o de perfil adecuado.
PLEGADORES	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomiendan para telas livianas, delicadas y deformables, p. ej., géneros de punto de PES texturizado, abiertos, con alta permeabilidad. • El arrollado de la tela sobre el plegador es muy importante: la tensión debe ser uniforme, se debe cuidar que los orillos de la tela no queden desiguales, se debe evitar que se formen bolsas de aire, etc. (<i>ver figura 8.51</i>). • En géneros muy densos es recomendable que la circulación del baño sea de adentro para afuera para evitar deformaciones y aparición de efectos “moirée”. En telas livianas y abiertas puede hacerse inversión del flujo. • Cuando se tiñen telas de PES, en general, es necesario un lavado previo para darle “volumen” a la tela, seguido de termofijación para impartir estabilidad dimensional. • El lavado previo es necesario también para retirar <i>oligómeros</i>, es decir PES de bajo peso molecular que liberados por la tela, pueden estar presentes en el baño como contaminantes. La tela los filtra y aparecen luego como cristales generando una tonalidad grisácea. Al final es necesario lavar “en cuerda” y los costos aumentan. • La pérdida de carga a través del empaquetado en “plegador” va de 0,05 a 1,5 kg/cm²

Autoclave



- 1- VALVULAS DE EXCLUSIÓN**
- 2- ENTRADA DE AIRE COMPRIMIDO**
- 3- DESCARGA DE EXCESO DE PRESIÓN**
- 4- CONTROL DE NIVEL**
- 5- PRESOSTATO**
- 6- VÁLVULA REVERSIBLE**
- 7- BOMBA CENTRÍFUGA**

Figura 8.42 (refs. 2)

Portamateriales para bobinas de hilado

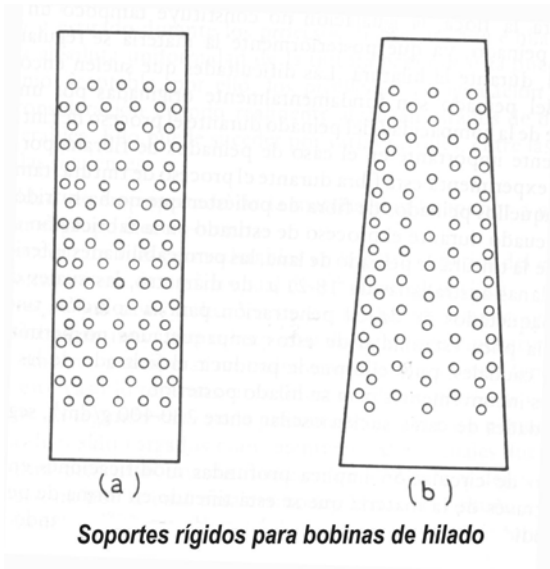


Figura 8.43 (ref. 1)



Figura 8.44 (ref. 1)



Figura 8.45 (refs. 2)



Figura 8.46 (refs.2)

Autoclaves para tintura de hilado en bobinas ref. 2

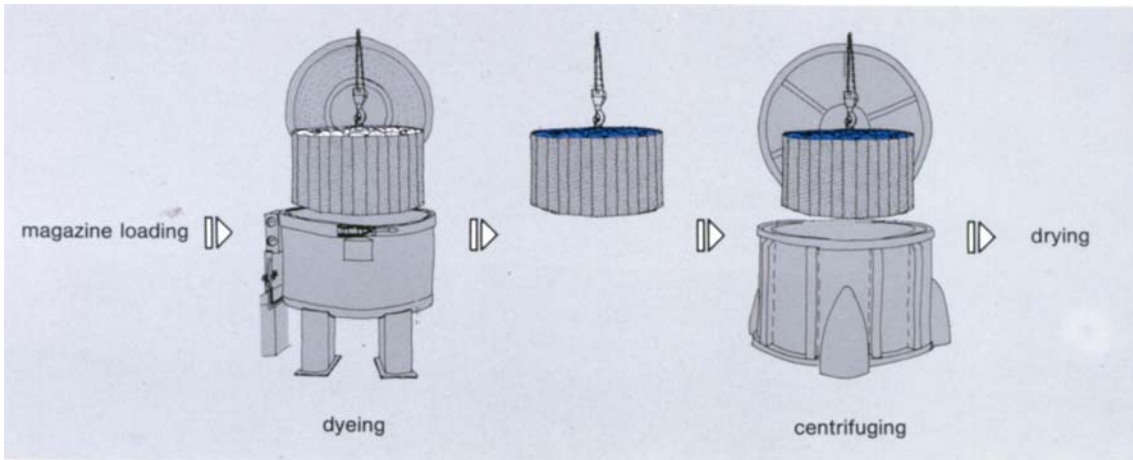


Figura 8.47

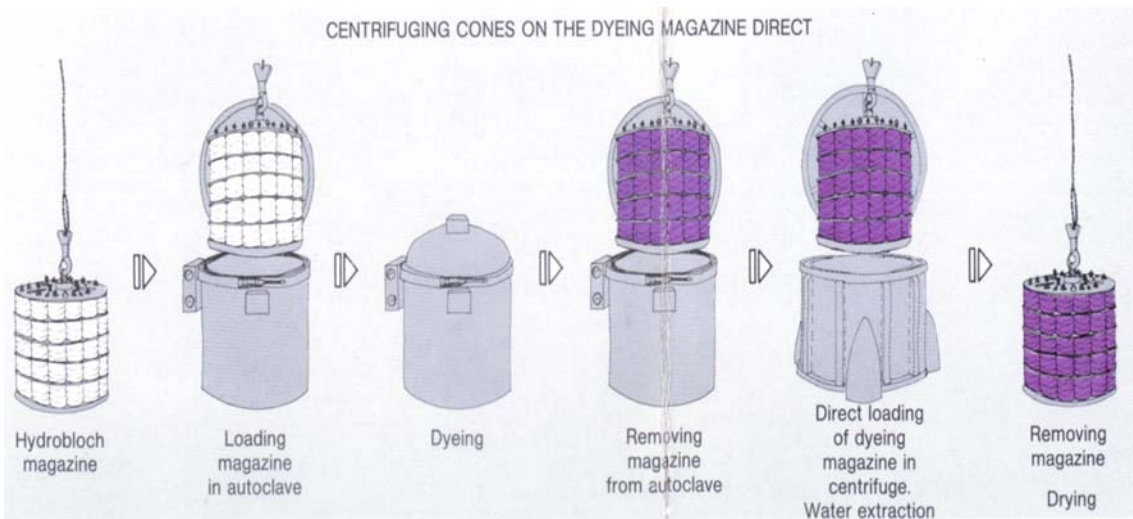


Figura 8.48

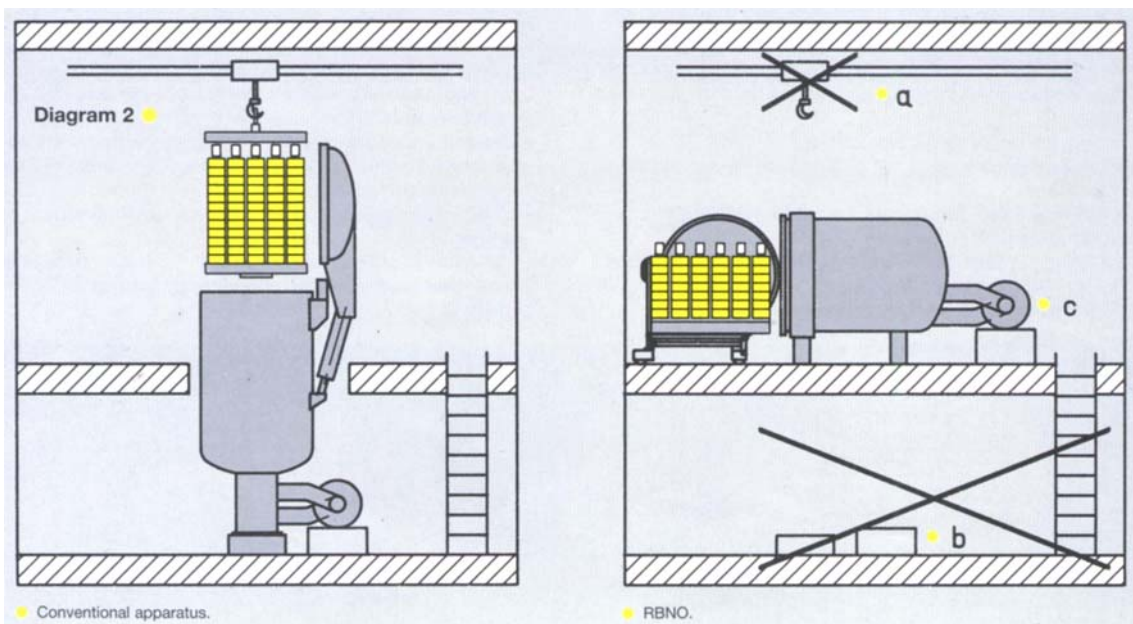
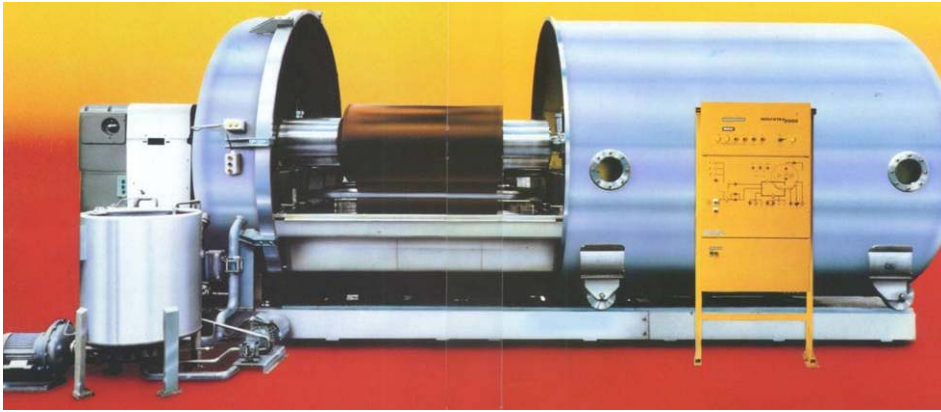
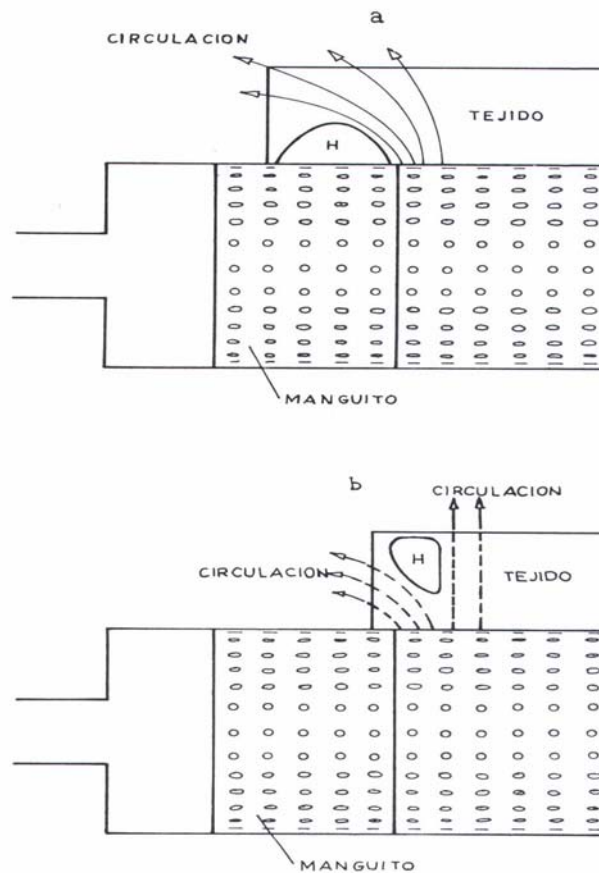


Figura 8.49



Autoclave para tela en plegador

Figura 8.50 (ref. 2)



Plegador para tela

Problemas de igualación en los orillos

Figura 8.51 (ref. 1)

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de materiales Textiles", J. Cegarra, P. Puente, J. Valdeperas. Universidad Politécnica de Barcelona, Barcelona, 1980.
- 2- Folletos comerciales de las firmas ATYC (Argerich, Termes y Cia. S.A., Terrasa, España), Loris Bellini & Co. (Milan, Italia) y Vald. Henriksen a/s (Dinamarca).

5.3.0- ARMARIOS

Los “armarios” se conocen también como “*Mezzeras*”, nombre de uno de los primeros y más conocidos fabricantes de estos equipos especializados en la tintura de *hilado en madeja*. Algunos trabajan a presión atmosférica y otros a alta presión y temperatura. Estos últimos son entonces, una variante de autoclave de tintura.

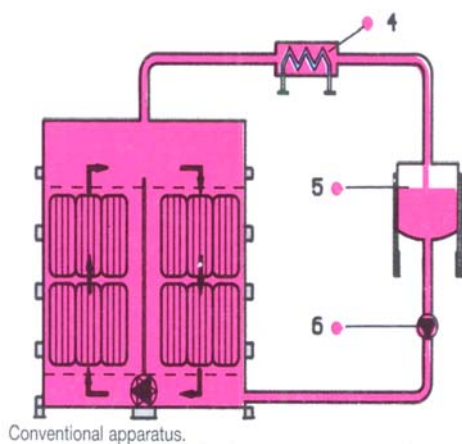


Figura 8.52



Figura 8.53

Loris Bellini & Co. (Milan, Italia)

Para evitar problemas de tintura desigual, la carga y la colocación de las madejas en los “armarios” debe realizarse cuidadosamente. Las madejas, colocadas estiradas en “*perchas*” o “*bastones*”, se deben distribuir uniformemente en el interior del armario asegurando también una muy buena y uniforme circulación del baño de tintura.

¿Porqué teñir en madeja? Los *hilados gruesos*, especialmente los de *lana* que es una fibra delicada, es mejor teñirlos en madeja pues se obtiene una mejor igualación que tiñéndolos en conos o bobinas. El hilado queda también con mejor resistencia a la tracción, con más voluminosidad y mejor regularidad.

El hilado de *algodón*, de cualquier título, previamente *mercerizado*, conviene teñirlo también en madejas. El mercerizado se realiza, en general, bajo tensión con el hilado en madejas. Entonces, una vez finalizado el proceso de mercerizado, es práctico cargar las mismas madejas en el “armario” y proceder a su tintura. En estos equipos es, en general, más difícil obtener buena igualación con hilados de algodón que con hilados de lana.

5.4.0- “JIGGERS”

Son equipos de “textil en movimiento y baño quieto”. Son apropiados para la tintura por “agotamiento” de *telas a lo ancho*. Se utilizan para partidas de tela relativamente pequeñas. Para grandes partidas, es más económico utilizar procesos “continuos” o por “impregnación”.



Figura 8.54
Val. Henriksen a/s (Dinamarca)



Figura 8.55
ASISA (Sabadell, Barcelona, España)

5.4.1- Algunos detalles constructivos

Los “jiggers” pueden ser abiertos o cerrados. Existen “jiggers” cerrados diseñados para trabajar a presión, p. ej. para teñir tela de PES a lo ancho.

Poseen dos cilindros para el enrollado de la tela y rodillos para guía de la tela dentro de la cuba del baño. El enrollado de la tela puede hacerse alternativamente en un sentido y en otro. Los cilindros deben estar perfectamente rectificadas y ejercer una tensión uniforme. En general, tienen dispositivos para el ensanchado y tensado de la tela.

La cuba es, en general, de forma trapezoidal. El baño se calienta con serpentines de vapor sumergidos. El vapor desprendido del baño de tintura se extrae por medio de una campana de extracción. Esta, en general, posee una bancada de tubos de calefacción para evitar que el vapor condense y caiga en forma de gotas sobre la tela, manchándola. Los modelos más recientes cuentan con control automático de temperatura y nivel del baño. Existen modelos cerrados o incluidos dentro de un autoclave para trabajar a alta temperatura.

5.4.2- Cuidados y precauciones en la tintura con “jiggers”

La tintura con “jiggers” puede presentar problemas de *igualación* y de *alteración de la estructura y el aspecto de la tela*.

La *igualación* dependerá de:

- 1) el “pick up” de la tela y su enrollado uniforme.
- 2) el intercambio de líquido intersticial de la tela con el baño de tintura.
- 3) la relación del volumen del baño al peso total de la tela.
- 4) la relación del volumen del baño al volumen de líquido intersticial.
- 5) la *cantidad de “pasadas”* de la tela, en un sentido y en otro (*n*). La cantidad de pasadas (*n*) será igual al tiempo total de tintura dividido el tiempo de cada “pasada”. El tiempo de cada “pasada” dependerá de la *velocidad* de la máquina y del *largo* de la partida de tela que se está tratando. Si cargamos mucha tela, el tiempo que dura cada pasada será muy largo, la tela fuera del baño se enfriará, especialmente si es un “jigger” abierto, y aparecerán problemas de igualación “cabeza-cola”.

- 6) la *concentración uniforme* del colorante en el baño y la forma como es adicionado. A veces se agrega todo antes de la primera “pasada” y otras veces es conveniente adicionarlo poco a poco, entre pasadas.
- 7) la *temperatura* del baño. Esta debe ser lo más uniforme posible ya que el baño en general no tiene agitación. Si, p.ej. hay un tubo de vapor perforado y un gradiente de temperatura a lo ancho del baño, pueden producirse desigualación “orillo-orillo”.
- 8) la *afinidad* del o los colorantes en el baño. Si son de gran afinidad seguramente se producirán diferencias de tono de “cabeza-cola”. Conviene poner “*punteras*” al principio y al final, es decir unos metros de tela “de sacrificio” para minimizar los problemas de igualación “cabeza-cola”.

La *alteración de la estructura* o aspecto de la tela dependerá de:

- 1) la tensión de enrollado y desenrollado y la cantidad de pasadas. Si son excesivas puede haber un “achatado” del dibujo, pérdida de cuerpo y volumen, aspecto “apapelado”, etc.
- 2) si hay deslizamiento lateral desperejo del “enrollado”. Esto, sumado a la tensión longitudinal, produce efectos “moirée” indeseables. Estos defectos pueden ser tanto mayor cuanto mas liviana y fina es la tela. Existen auxiliares “antideslizantes” (“*blocking agents*”), que impiden que la tela “se corra” lateralmente y se produzcan estos problemas, que suelen ser frecuentes.

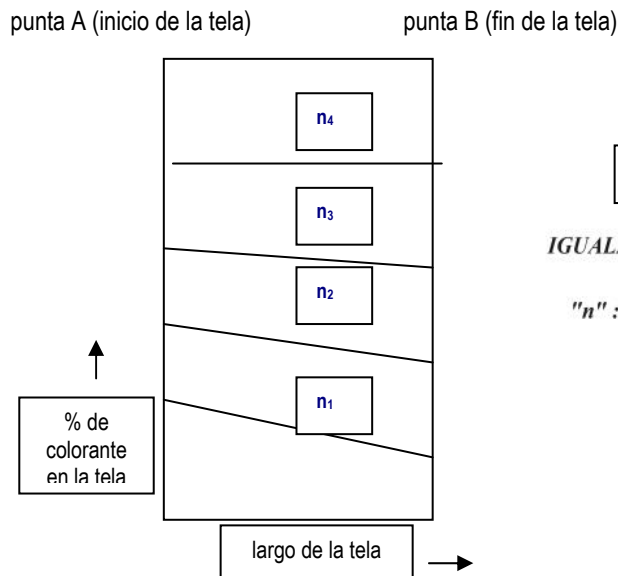


Figura 8.56

**IGUALACIÓN DE LA TINTURA
EN "JIGGER"**
"n" : cantidad de pasadas

5.5.0- BARCA DE TORNIQUETE

Son equipos en los que el textil está en movimiento y el baño quieto. Se cose la tela “cabeza” con “cola” y se hace pasar repetidamente por el baño haciéndola girar con un “torniquete”. La tela, durante la tintura, en general se enrolla sobre si misma por lo que a este método de tintura se le llama, a veces, también “tintura en cuerda”

TABLA 8.25- Tipos de barcas de torniquete

CLÁSICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Abiertas • Tintura a presión atmosférica • Tela en movimiento y baño quieto
MODERNAS	<ul style="list-style-type: none"> • Cerradas • Es posible teñir a alta presión y temperatura (HT) • Tela y baño en movimiento

TABLA 8.26 - Forma de la sección del “torniquete”

CILÍNDRICA	<i>Imprime a la tela un movimiento suave. Es especialmente recomendable para telas de lana.</i>
OVAL	<i>Recomendable para tejidos livianos (p.ej. de algodón, viscosa, etc.). Ejerce sobre la tela un movimiento alternante que la mantiene suelta y abierta.</i>
POLIGONAL	<i>Recomendable para tejidos más fuertes. La frecuencia del movimiento alternante es mayor.</i>
<i>NOTA: La superficie del “torniquete” tiene , en general, barras horizontales para que la tela no resbale. Esto podría afectar la textura y la terminación final de algunas telas livianas y delicadas.</i>	

TABLA 8.27 - Desventajas de las barcas de “torniquete”

<ul style="list-style-type: none"> • La disposición de la tela “en cuerda” hace que no sea recomendable la utilización de colorantes de alta afinidad pues se pueden obtener tinturas desiguales. • Cuando se tiñe ALGODÓN con colorantes DIRECTOS es, entonces, recomendable utilizar colorantes del grupo A y no de los grupos B y C. Los colorantes TINA no se pueden utilizar pues se oxidarían y se insolubilizarían durante el proceso de tintura. Para la tintura de LANA, en general, resulta más fácil utilizar colorantes ácidos de buena igualación (<i>grupos 1 y 2</i>) • La diferencia de temperaturas entre el baño y la parte no sumergida de la tela también puede afectar la igualación.

Barcas de torniquete (abiertas y cerradas)

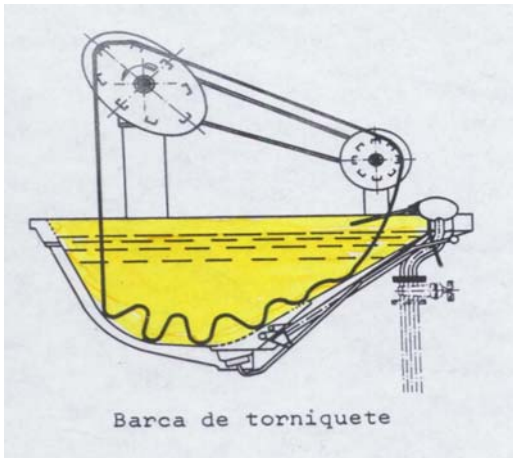


Figura 8.57

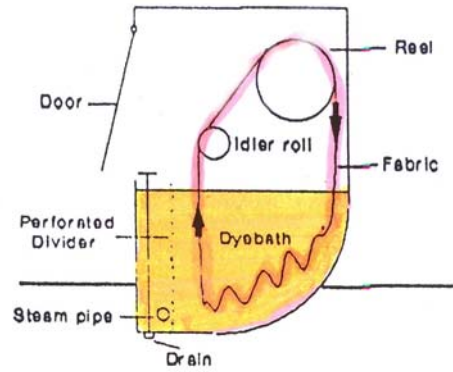


Figura 8.58

Loris Bellini & Co. (Milán, Italia)

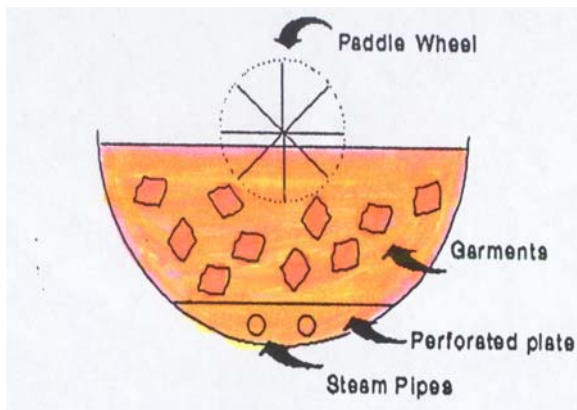


Figura 8.59

BARCA ABIERTA PARA TEÑIR PRENDAS

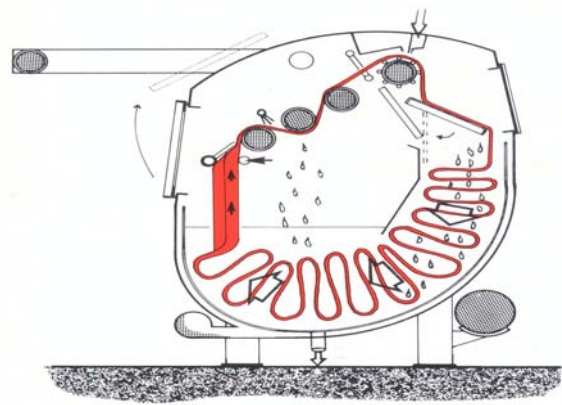


Figura 8.60

BARCAS CERRADAS

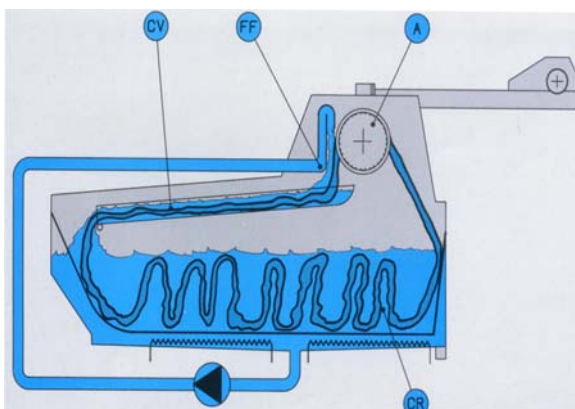


Figura 8.61

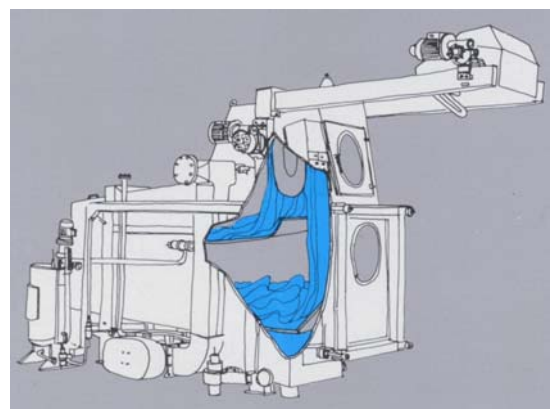


Figura 8.62

BARCAS CERRADAS

5.6.0- “JETS”

Los “jets” aparecen como una innovación en el diseño de equipos capaces de teñir todo tipo de telas, en forma rápida, económica y con buena igualación. El aumento, especialmente a partir de 1960 y años siguientes, de la producción y consumo de telas livianas y delicadas, como los *tejidos de punto hechos de filamentos de PES texturizado y también con hilado de PES de fibra cortada, en mezcla íntima con otras fibras*, tuvo mucho que ver con este desarrollo. Se pueden señalar algunas etapas:

1) La tintura de PES (y sus mezclas) en “**barcas de torniquete**”, a presión atmosférica, requiere el agregado de “carriers”, que encarecen el proceso, presentan riesgos para la salud de los operarios y contaminan el medio ambiente. Como en general los “carriers” presentan ciertos grado de volatilidad, pueden también condensar en las partes frías de la máquina o en el techo y caer luego como gotas manchando la tela.

Si bien en las “*barcas de torniquete*” la tela se tiñe relativamente suelta, el tramo de tela que queda suspendida, sin apoyo entre el baño y el torniquete, puede deformarse perdiendo volumen y textura. También ese tramo se enfría, con lo que aparecen problemas de igualación. Esto se puede corregir, en cierto grado, con barcas cerradas.

Si las telas de PES se tiñen sin **termofijar**, pueden arrugarse excesivamente y, en general, para disminuir este problema, al final de la tintura, se enfría lentamente. Se debe entonces, en general, termofijar la tela a lo ancho antes de teñir, lo que encarece el proceso por dos motivos: por el termofijado en si y además porque antes de termofijar es necesario hacer un lavado previo.

2) En las “*barcas de torniquete*” las partidas de tela deben ser chicas. Teñir partidas grandes entonces resulta lenta y de bajo rendimiento. Una alternativa para teñir mayores cantidades de tela delicada, de PES y sus mezclas, es hacerlo en un **autoclave**, con la tela arrollada en “**plegador**”, pero, como vimos, la tintura en “plegador” tiene también sus inconvenientes, especialmente de igualación en los orillos.

3) Los “**jiggers**” tampoco son adecuados para telas delicadas y elásticas, como los tejidos de punto, pues estos sufren tensiones excesivas, en los pasajes de un rodillo a otro, y pueden deformarse.

4) La innovación entonces fue, construir “**barcas de torniquete a presión**”, con circulación de baño y con mecanismos que guíen la tela lo más suavemente posible, sin tirones ni tensiones. Son equipos de “*textil y baño simultáneamente en movimiento*”. El baño es rociado continuamente sobre el tramo de tela en suspensión, con lo que se logra homogenizar bastante la temperatura de teñido. De todas maneras, en estas máquinas los tiempos de tintura no son muy cortos y no se eliminan totalmente las tensiones sobre la tela.

5) En 1967 aparecen los primeros equipos “**jets**” (*Gaston County*), que son equipos cerrados y a presión, que como innovación tienen en su interior una **tobera** o “**jet**”, por donde pasa la tela, junto con el baño, siendo ambos impulsados por la diferencia de presión generada por el efecto “**venturi**”. *De esa forma las tensiones y deformaciones sobre la tela se disminuyen a un mínimo*. En general el equipo debe tener un diseño y una tobera adecuados al peso de la tela que se va a teñir. Algunos tipos y variantes son los siguientes:

a) Los “**jets puros**” o de “**inyección directa**”, tipo “*Gaston-County*” que fueron los primeros en aparecer. En ellos la tela está parcialmente sumergida y se trata de que la misma, cosida cabeza con cola, haga un pasaje por la tobera cada 3-4 minutos, para evitar así marcas y arrugas que se

podrían formar si el tiempo de retención del tramo de tela plegada y sumergida en el baño, fuera mayor. En estos equipos la tobera puede ser vertical u horizontal, pueden haber uno o varios rodillos o torniquetes que guíen la tela y “buffles” para disminuir la espuma. La velocidad de circulación de la tela puede ser de 200-300 m/min y la velocidad lineal del baño de 1000-1400 m/min.

b) Los **“jets de cascada”, “de rebosadero”, o de “flujo progresivo”, u “overflows”** que son muy adecuados para las telas más delicadas, como p.ej. tejidos de punto muy abiertos y deformables, hechos con hilados de fibras discontinuas muy delicadas, como por ejemplo la *lana*. En este tipo de equipo la tela, cosida cabeza con cola y parcialmente sumergida, y el baño, no se mueven por la acción de una tobera o “jet”: el baño es impulsado por una bomba y cuando llega al rebosadero arrastra la tela que va suelta, sostenida solamente por un rodillo o torniquete guía. Velocidad de la tela: 150 m/min, velocidad lineal del baño: 200 m/min. Es decir las velocidades son bastante mas bajas que en un “jet puro”.

c) Los modelos anteriores de “jets” pueden tener el inconveniente de formación de espuma. Con los **“jets sumergidos”** se trata de evitar este problema. Los torniquetes, que están sumergidos, son solo guías para la tela. Las velocidades son intermedias entre las de los equipos anteriores. Se pueden encontrar también **“jets mixtos”**: “overflow” y parcialmente sumergidos.

d) Más recientemente aparecen los **“jets airflow”** o **“airjets”**. En la tobera de estos equipos se genera un “spray”, mezcla de aire y solución de tintura, que impulsa a la tela. El movimiento de la tela es guiado por un pequeño molinete. El baño de tintura en forma de “spray”, difunde en el textil y su exceso es reciclado. Con este sistema se logran relaciones de baño de 1/4 a 1/1.5, con **notable ahorro de energía, colorantes y productos auxiliares**. Es un equipo muy conveniente para la tintura de telas delicadas (p.ej. *tejido de punto*), de fibras artificiales, sintéticas y mezclas de estas con algodón. *En cortos tiempos de tintura se obtienen teñidos libres de arrugas con excelente igualación de color.*

Para resumir, en general, las **VENTAJAS** de la tintura en “jets” son:

a) La tela queda con menos arrugas, pues al salir **la tela** de la tobera, el baño se mueve más rápido y la tela entonces flota, sin tensión y sin tocar las paredes del equipo.

b) La alta turbulencia a la salida de la tobera mejora la igualación del color.

c) Se puede teñir *PES* sin termofijado previo. Esto es muy importante pues las telas quedan mejor, con más “cuerpo” y más “volumen”. Permite ahorrar, además, el imprescindible lavado previo al termofijado: se hace simplemente un lavado sencillo en el mismo equipo de tintura. Se tiñe y luego, si es necesario, se termofija. En ese caso, los colorantes dispersos utilizados deben resistir las temperaturas del termofijado y no sublimar, pues en caso contrario, la tela podría quedar de color diferente o más claro al previsto.

d) Si bien el *PES* es lo que más se tiñe en “jets”, también puede teñirse acrílico, poliamida, triacetato y mezclas de fibras celulósicas o lana con fibras sintéticas. Se pueden teñir tanto telas planas como tejidos de punto.

e) Con la tintura en “jets” se obtiene un importante ahorro de energía pues, en general, los ciclos de tintura son más cortos y las relaciones de baño menores. Se debe sin embargo, calentar lentamente (*el PES a 3-5°C/min, el acrílico a 1°C/min*) y también enfriar lentamente para evitar arrugas, especialmente si se trata de *PES* sin termofijar. La tela debe recorrer dentro de la máquina un ciclo cada 3-4 minutos, si no, pueden producirse arrugas o marcas.

Las **DESVENTAJAS** de la tintura en “jets” son:

a) Salvo en los **“jets sumergidos”**, la espuma puede ser un problema importante. A causa de la espuma puede enredarse la tela y producirse cavitación de la bomba. Para disminuir estos

inconvenientes es necesario, en general, agregarse antiespumantes estables en las condiciones de la tintura.

b) Si bien se ahorra energía térmica por menor uso de vapor, puede haber un gasto importante de energía eléctrica debido al funcionamiento de las bombas de recirculación del baño.

c) Si la tela está construida con hilado de fibras discontinuas y rígidas, como es el caso del PES, puede producirse "pilling" por la frotación tela/baño. En los "airjets" este problema es menor.

d) Si la tintorería tiñe muchas partidas diferentes, el ajuste de las condiciones de trabajo, para cada partida, puede ser difícil y requerir mucha experiencia.

e) Las telas, especialmente las muy livianas, tienden a flotar, enredarse o apretarse en cuerda, formar nudos, etc. En ese caso hay que parar el proceso, enfriar y liberar la tela a mano, lo que es un gran inconveniente por la pérdida de tiempo, energía, jornales, etc. Los "jets" modernos poseen alarmas de atascamiento y medidores de velocidad de la tela, programadores de temperatura, de apertura y cierre de válvulas, mecanismos externos para la carga y descarga de la tela, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- *Instalaciones mecánicas para el teñido de género de poliéster en pieza, a altas temperaturas.* H.J.Leckenbusch, Bayer Review N° 25
- 2- *Desarrollo histórico y crítica de la tintura en "jet".* S.Murow, V Congreso FLAQT, 1974, pág.11
- 3- *"Newest developments in jet dyeing equipment"* G.R. Turner, Textile Chemist and Colorist, October 1988.
- 4- *"Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materiales Textiles"*, J.Cegarra, P.Puente, J.Valdeperas.

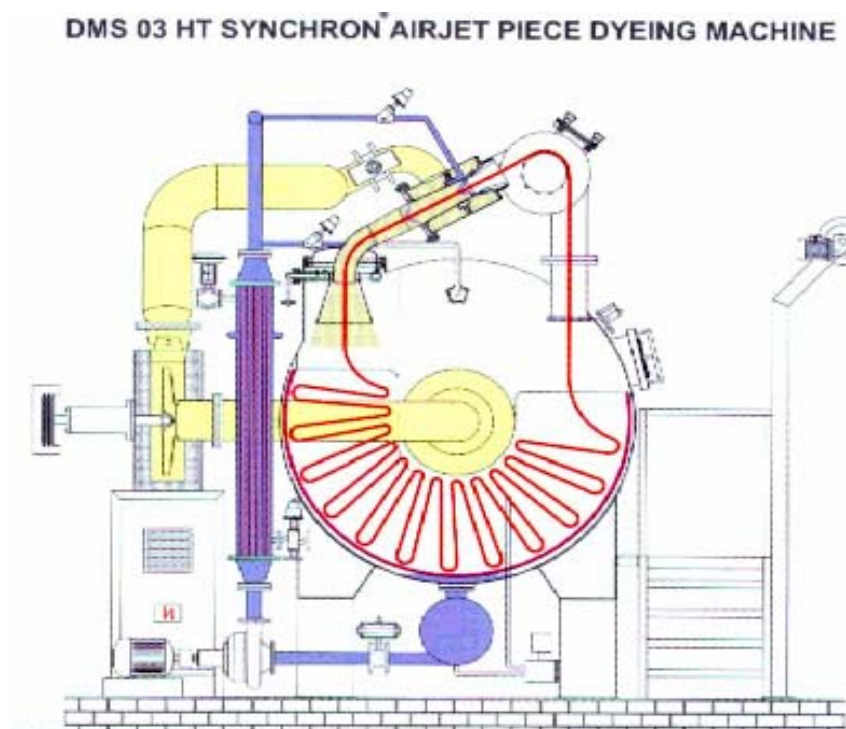


Figura 8.63 AIRJET

En rojo: la tela. En azul: el baño de tintura. En amarillo: el aire

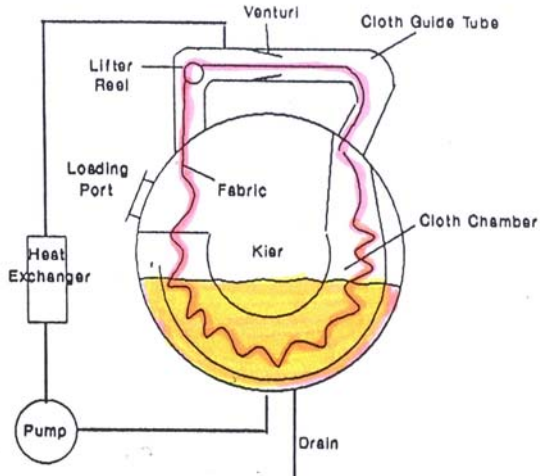


Figura 8.64

“JET” PURO tipo Gaston County

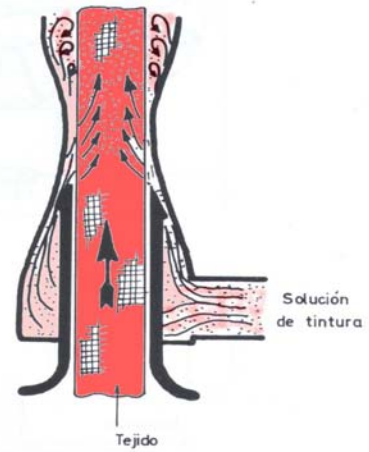


Figura 8.65

Tobera o Venturi de “jet” puro (ref.4)

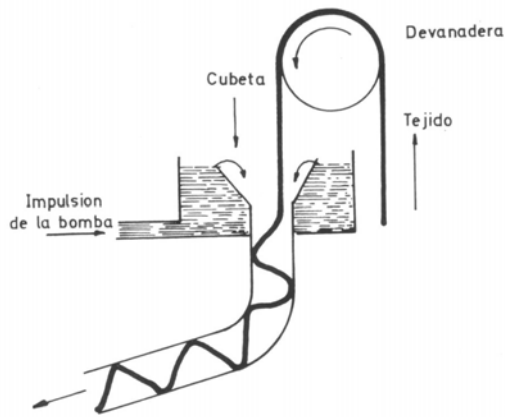


Figura 8.66

“JET OVERFLOW” (ref.4)

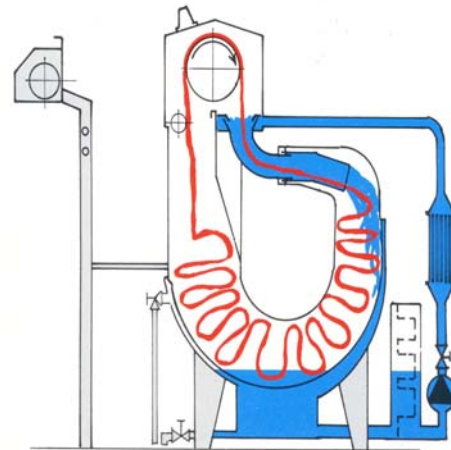


Figura 8.67

“JET OVERFLOW”

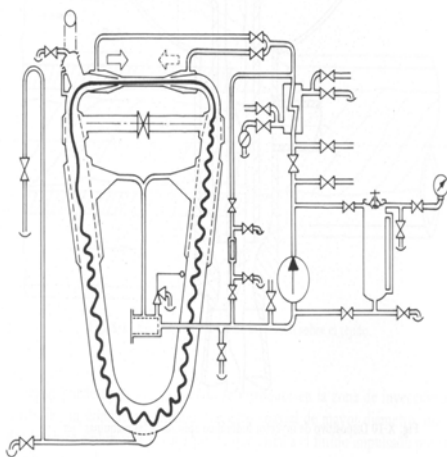


Figura 8.68

“JET” SUMERGIDO CON DOS JETS OPUESTOS Serracant (ref.4)

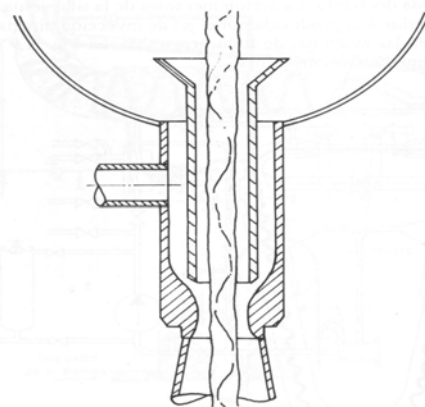


Figura 8.69

“JET MIXTO: OVERFLOW + SUMERGIDO” (ref.4)

5.7.0- TINTURA POR IMPREGNACIÓN

La mayoría de los equipos empleados en tintorería, como los que hemos considerado previamente, se utilizan en procesos *discontinuos* o “*batch*”, como es la tintura “*por agotamiento*”. Los “*foulards*” o “*pads*”, en cambio, son equipos utilizados para tratamientos *húmedos* (no solo tintura) a la *continua* o “*por impregnación*”.

En forma general, si bien puede haber excepciones, los procedimientos por “*agotamiento*” se utilizan para partidas limitadas de material textil, mientras que los procedimientos por “*impregnación*” en cambio, se emplean cuando la partida a tratar es muy grande y justifica un tratamiento a la *continua*. Los procedimientos *a la continua* o *por impregnación* se utilizan generalmente para el tratamiento y tintura de *telas*, pero también son aplicables para el tratamiento de “*mecha peinada*” o “*top*”.

El procedimiento por *impregnación* consta de tres operaciones básicas: **1)** la *impregnación* propiamente dicha, **2)** el *exprimido* entre rodillos, forzando la solución impregnada hacia el interior de la tela y expulsando aire y exceso de solución y, **3)** el *fijado*.

La *impregnación* y el *exprimido* se realizan, generalmente, en el “*foulard*” o “*pad*”. Para el *fijado*, en cambio, se requiere de otros equipos para realizar las siguientes operaciones: **a)** un *secado rápido* para detener posibles migraciones del producto impregnado, **b)** un *vaporizado* para facilitar la difusión del producto o colorante dentro de la fibra (*cuando se tiñe*) y, finalmente, **c)** la aplicación de *calor seco* para terminar de secar.

Según el tipo de proceso, se pueden repetir varias veces las mismas operaciones, utilizando distintos productos, pero siempre haciendo exprimidos intermedios. A veces en estas operaciones se pueden producir reacciones químicas. Algunos ejemplos de distintos procesos:

- 1) la aplicación de pigmentos insolubles, dispersados en vehículos apropiados: *impregnación* en la dispersión de pigmentos, *exprimido* y *secado*.
- 2) la tintura con colorantes tina o sulfurosos sobre algodón: *impregnación* con la solución del colorante en forma reducida, *exprimido*, *impregnación* en solución oxidante, *exprimido* y, finalmente, *secado*.
- 3) la tintura con colorantes reactivos sobre algodón: *impregnación* con solución de colorante, *exprimido*, *impregnación* con solución alcalina, *exprimido*, *vaporizado* y *secado*.
- 4) la tintura de lana con colorantes ácidos y de algodón con colorantes directos: *impregnación* con soluciones viscosas o pastas (*para evitar la migración del colorante*), *exprimido*, *vaporizado*, *secado* y *fijado*.
- 5) la tintura de PES con colorantes dispersos: *impregnación*, *exprimido*, *secado suave* y finalmente, aplicación de *calor seco*, alcanzándose temperaturas de hasta 180-220 °C. Este procedimiento se conoce como “*pad-thermosol*”.
- 6) la aplicación de resinas de terminación para conferirle “*mano*” o propiedades especiales a la tela: *impregnación* con una resina reactante, *exprimido*, *impregnación* con solución de catalizador, *exprimido*, *secado* con aire caliente.

En general los “*foulards*” cuentan con dispositivos mecánicos de alimentación y guía de la tela a lo ancho, para no producir arrugas (*barras tensoras, cilindros, etc.*). Las velocidades de entrega de la tela van de 10 a 50 m/min.

La cuba o “*pastera*” de *impregnación* debe ser del menor volumen posible. Para producir una buena *impregnación* debe poseer alimentación *continua* para mantener el nivel constante. Deben poseer control automático de temperatura.

Los rodillos de exprimido son cilindros que están generalmente recubiertos de cauchos sintéticos. La presión entre rodillos oscila entre 20 y 100 kg/cm² y es muy importante que sea uniforme a todo lo largo de los rodillos. Estos deben ser mantenidos y rectificados siempre que sea necesario. En general la presión se desarrolla con sistemas hidráulicos.

El porcentaje de impregnación de la tela a la salida de los rodillos va del 45 al 130 % (*sobre base seca*), dependiendo del textil y su "pick-up". Este parámetro, junto con la *afinidad* del colorante, determinará la *igualación* de la tintura.

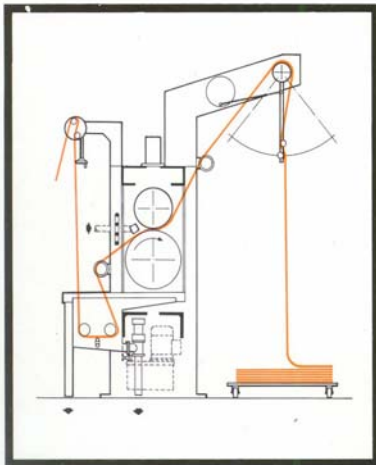


Figura 8.70

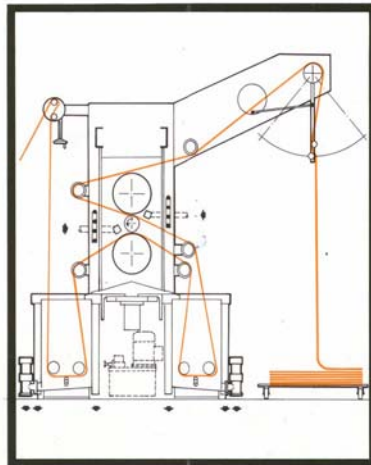
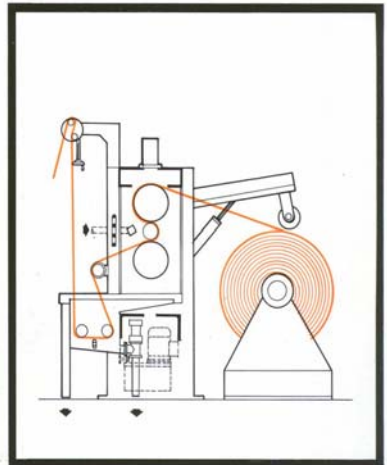
Figura 8.71
MAT (Brescia, Italia)

Figura 8.72

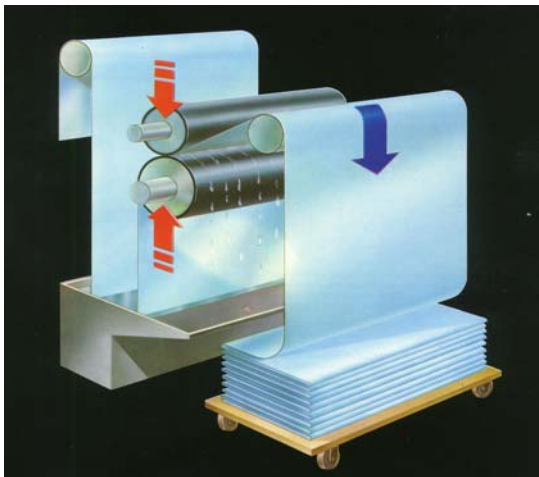


Figura 8.73



Figura 8.74

MAT (Brescia, Italia)

5.7.1 - IMPREGNACIÓN CON COLORANTES DE BAJA AFINIDAD

(ref. 1)

Supongamos que:

- W** = Peso de la tela por unidad de longitud, *kg/m*
- P** = Impregnación o “pick-up” después del exprimido, *l/kg*
- S** = Velocidad de avance de la tela, *m/min*
- C_o** = Concentración inicial del colorante en la cuba o pastera, *g/l*
- C_a** = Concentración de colorante en la solución de reposición, *g/l*
(C_a será igual a C_o en tanto se trate de un colorante sin afinidad)
- V** = Volumen útil de la cuba o pastera, *l*
- C_f** = Cantidad de colorante impregnado por metro de tela, *g/m*

$$C_f = W P C_o \quad (1)$$

Como no hay afinidad, se trata solo de una impregnación “mecánica” **P** de una solución de colorante de concentración **C_o**, por un peso de tela **W**. Si bien el volumen de la solución de colorante en la pastera disminuye, su concentración inicial **C_o** se mantendrá constante. Entonces, como **C_a = C_o**, la velocidad **v** de reposición a la pastera, de la solución de colorante (en *l/min*), deberá ser:

$$v = W S P \quad (2)$$

Si por cualquier razón tuviéramos que cambiar de “foulard” o de tela, la nueva concentración inicial **C_o** la calcularíamos con la sencilla expresión:

$$C_{o2} = W_1 P_1 C_{o1} / W_2 P_2 \quad (3)$$

5.7.2 - IMPREGNACIÓN CON COLORANTES DE ALTA AFINIDAD

(ref. 1)

Para un dado tiempo de impregnación, la cantidad de colorante tomado por la tela será mayor que la que correspondería por una simple impregnación mecánica. Esa cantidad mayor se expresa por un **factor de afinidad = x**. Por ejemplo, si **x = 1.3**, tendremos un 30% más de “subida” del colorante de alta afinidad que la que se observaría con uno de poca afinidad. El factor **x** no es una simple propiedad del colorante sino que depende de la estructura del tejido, de las propiedades de la fibra, del equipo, de la presencia de electrolitos, de sustancias hidrotópicas, etc.

Si mantenemos **v = W S P** (velocidad de reposición de solución de colorante a la pastera), la concentración inicial de colorante, **C_o**, disminuirá debido a su afinidad por la fibra textil. Se producirá entonces en la tela, una desigualdad “cabeza-cola”: es decir, un tono más intenso al comienzo que al final de la tela. Sin embargo, la disminución de **C_o** reduce a su vez la cantidad de colorante que puede ir tomando la tela y después de un cierto tiempo se llega a un equilibrio de régimen estacionario, dado por la expresión:

$$V(dC/dt) = vC_o - v x C_o \quad (4)$$

Si **C_t** es la concentración de colorante en la pastera, a un dado tiempo **t**, suponiendo **x** constante, se llega a la expresión:

$$C_t / C_o = 1/x [1 + (x-1)e^{-x t (v/V)}] \quad (5) \quad \text{ó} \quad C_t / C_o = f [x], [(v/V)t]$$

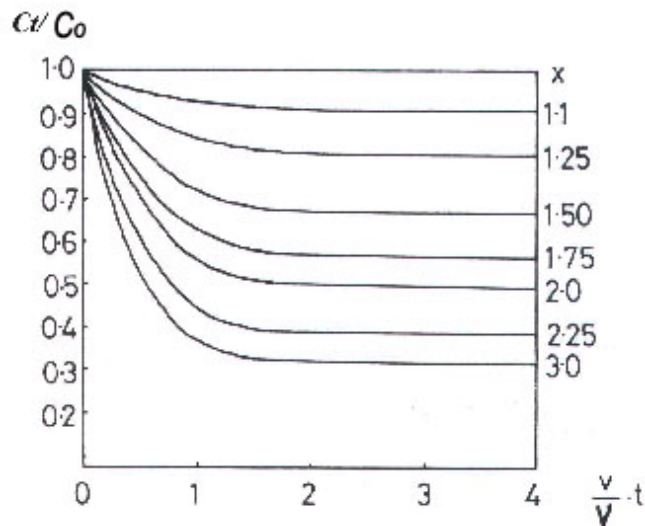


Figura 8.75

En la Figura 8.69 cuando $x=1$, $C_t/C_o=1$ y estaríamos en el caso de colorante sin afinidad. Para un dado valor de x , mayor que 1, C_t disminuye con el tiempo t y C_t/C_o se hace menor que 1, rápidamente al principio, hasta que se llega a un estado estacionario. Para $t = \infty$, de acuerdo a la expresión (5), tendremos:

$$C_{t\infty}/C_o = 1/x \quad (6)$$

Por ejemplo, si $x = 1.5$, $C_{t\infty}/C_o = 1/1.5 = 0.67$ y C_o , la concentración inicial de la solución en la pastera, será 50% mayor que $C_{t\infty}$, la concentración de la solución en la pastera en el estado estacionario. A los efectos prácticos, se llega a ese estado estacionario a valores de $k = (v/V)t$ entre 2 y 3. El número $k = (v/V)t$ es adimensional (p.ej. : v en l/min, V en l, t en min).

Entonces para disminuir la desigualdad de tono "cabeza-cola" se podría efectuar una dilución en la cuba o pastera, al comienzo del proceso. Esto lo hacen algunos tintoreros experimentados, pero si se trabaja con una mezcla de colorantes esto ya no es tan fácil. Otra solución es incrementar C_a (la concentración del colorante en la solución de refuerzo) un cierto % sobre C_o (la concentración inicial de la solución en la pastera). Estos incrementos generalmente vienen indicados en los catálogos de los proveedores de colorantes y sirven como orientación.

Para un dado k hay un dado tiempo t en que se alcanza el equilibrio estacionario: $t = k(V/v)$. Para que t disminuya, V debe disminuir y v aumentar. Quiere decir, que para alcanzar rápidamente el estado estacionario la pastera debe ser lo mas chica posible y la velocidad v de reposición de la solución de refuerzo lo más alta posible. Pero el aumento de v será función del "pick-up" de la tela y de S , la velocidad de pasaje de la tela. El "pick-up" de la tela se puede aumentar bajando la presión de los rodillos de exprimido. En cambio no conviene aumentar la velocidad S de pasaje de la tela pues aumentaríamos también la cantidad de metros iniciales con desigualdad de tono "cabeza-cola".

5.7.3- FIJADO (*)

Luego de la impregnación, el colorante se encuentra uniformemente distribuido sobre la tela (*en el mejor de los casos*), pero recubriendo superficialmente las fibras. Debemos lograr que difunda hacia el interior de la fibra y sea fijado. Las condiciones de la difusión y el fijado son específicas para cada sistema fibra/colorante, pero en general, los procedimientos para lograr esto son:

- 1) **Impregnación y reposo (“pad-batch”)**. Se impregna la tela y se la deja enrollada un determinado tiempo a la temperatura indicada (*generalmente menos de 100°C*). El rollo de tela debe girar permanentemente para evitar el “empozado” de la solución impregnante. Este procedimiento se sigue, p.ej. para la tintura de algodón con colorantes reactivos, el descolado enzimático de las telas de algodón, etc.
- 2) **Impregnación y vaporizado (“pad-steam”)**. Esta operación se hace en cámaras o equipos especiales de vaporización. La temperatura del **vapor** y la muy baja “relación de baño” que implica la tela húmeda, facilitan la difusión y fijación del colorante. Este método se utiliza para la *tintura* y *estampación* de **a)** algodón con colorantes directos y lana con colorantes ácidos, **b)** algodón con colorantes solubilizables como los tina y los sulfurosos, **c)** poliéster con colorantes dispersos y algodón con colorantes reactivos. En los dos primeros casos se utiliza vapor saturado a 100°C o pocos grados más y, en el tercero, vapor sobrecalentado a 130-140°C. Se debe evitar la condensación del vapor con goteo que pueda manchar las telas.
- 3) **Impregnación y termofijado (“pad-thermosoling”)**. Se utiliza generalmente para la *tintura* y la *estampación* de PES con colorantes dispersos. Se hace un secado previo, rápido y uniforme, primero con lámparas infrarrojas y luego con **aire caliente**, tratando de reducir la humedad a 10-20%. A estos porcentajes de humedad disminuye sensiblemente la migración de los colorantes, que puede ocurrir en cambio si el secado es demasiado lento. También, para reducir la migración de los colorantes durante el secado, se pueden utilizar en el baño de impregnación modificadores de viscosidad o espesantes. Finalmente se hace un tratamiento térmico más intenso, a 180-220 °C, o “*thermosoling*”, en un túnel de aire caliente o “rama” (Figura 8.72). En esta etapa también puede fijarse las dimensiones de la tela.

(*) Ver también “ESTAMPACIÓN”, capítulo sobre “VAPORIZADO”

BIBLIOGRAFÍA

- 1- “Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de materiales Textiles”, J. Cegarra, P. Puente, J. Valldeperas. Universidad Politécnica de Barcelona, Barcelona, 1980.
- 2- “Low-liquor dyeing and finishing” G.G.J. Van der Walt, N.J.J. Van Rensburg, *Textile Progress*, Vol. 14, N°2, 1986.
- 3- Folletos comerciales.

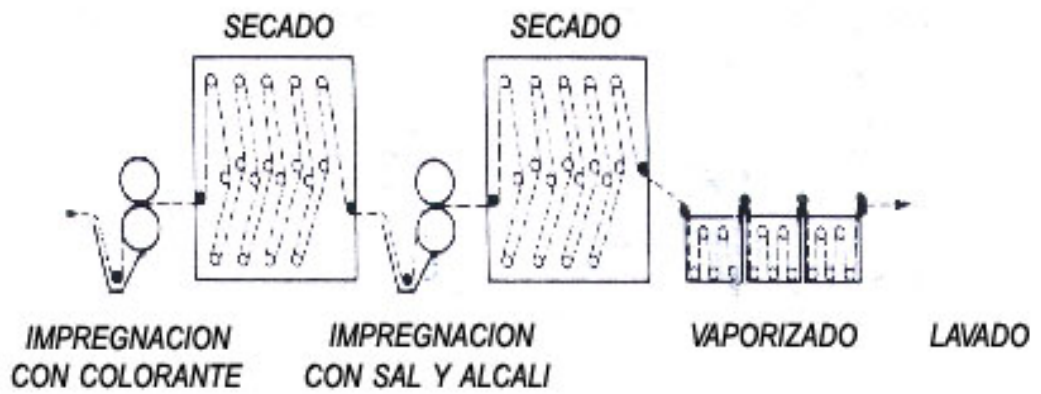


Figura 8.76 – Tintura por impregnación con colorantes reactivos

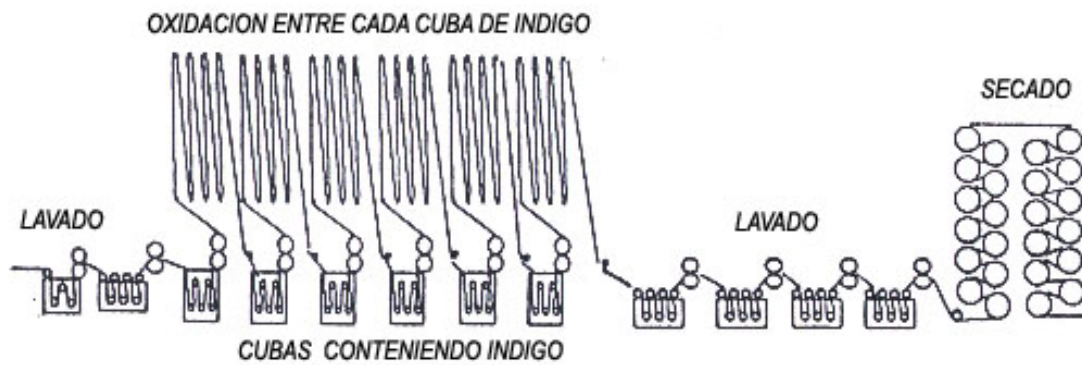


Figura 8.77 – Tintura por impregnación con índigo

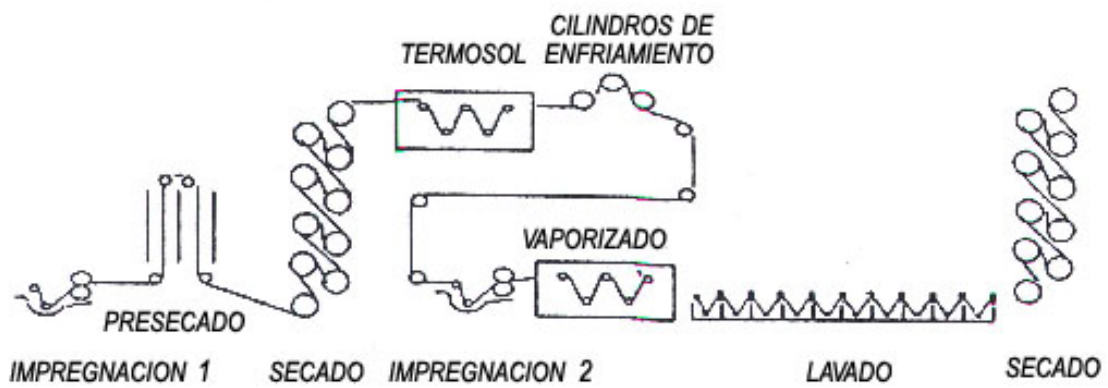


Figura 8.78 – Tintura por impregnación con "termosoling"

CAPITULO IX

LA ESTAMPACION TEXTIL



CONTENIDO**PÁGINA**

1.0.0- La Estampación Textil.....	142
2.0.0- El grabado de la Imagen.....	146
3.0.0- La Tinta de Estampación.....	147
4.0.0- El Vaporizado.....	148
5.0.0- William Morris.....	152

1.0.0- LA ESTAMPACIÓN TEXTIL

En un telar Jacquard se pueden obtener telas con diseños muy complejos y atractivos, p.ej. brocados y damascos, utilizando hilados de diferentes colores. Estas telas son en general de alto costo. Por otra parte, con la estampación textil también se pueden lograr telas con diseños complejos pero es en cambio, una opción mucho más versátil y económica¹. Desde el punto de vista del tintorero se puede considerar a la estampación textil como una “*tintura por impregnación localizada*”.

La estampación textil es un caso especial de impresión gráfica en la que el substrato, en lugar de ser papel, es una tela. Se puede estampar todo tipo de telas con una gran diversidad de colorantes y de procedimientos.

En general, un proceso de impresión implica los siguientes elementos:

- 1) *Superficie portadora de la imagen,*
- 2) *Superficie soporte o base de la superficie portadora de la imagen (pueden ser planas o cilíndricas),*
- 3) *Substrato que recibe la transferencia de la imagen (papel, tela, film plástico, etc.),*
- 4) *Material que produce la nueva imagen (tintas, pastas o pinturas que incluyen colorantes o pigmentos).*

La transferencia de la imagen puede ser: 1) por contacto o impresión propiamente dicha, 2) a distancia, con luz sobre un superficie fotoquímicamente sensible, como en la impresión fotográfica o el grabado con láser; o con luz y atracción electrostática como en la electrofotografía o xerografía.

TABLA 9.1 * IMPRESIÓN POR CONTACTO	
	TÉCNICAS MÁS COMUNES
POR ENCIMA (en relieve)	TIPOGRAFÍA, FLEXOGRAFÍA
POR DEBAJO (grabada)	HUECOGRABADO,
COPLANAR (con áreas con diferente afinidad por la tinta)	LITOGRAFÍA (“off set”), TERMOTRANSFERENCIA
COPLANAR POROSA (algunas áreas permiten el pasaje de la tinta y otras no)	SERIGRAFÍA, MIMEOGRAFÍA

¹ Durante el siglo 18, los tejedores ingleses se opusieron fuertemente, primero a la importación de algodones estampados provenientes de la India o “Calico printings” (“Calico” es una abreviación de “Calicut” nombre de Calcuta en inglés) y luego, a la naciente industria local de estampación, pues consideraban que las telas estampadas, por ser más baratas, competían fuertemente con sus tejidos con diseños (ref.1)

SISTEMAS DE IMPRESIÓN GRÁFICA

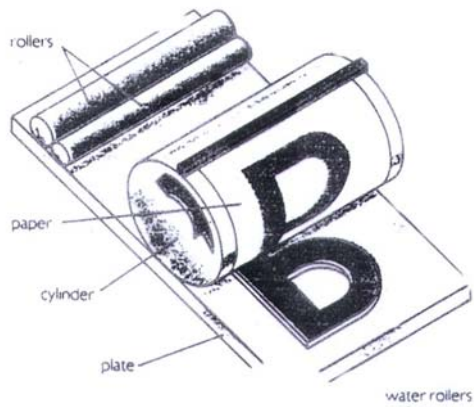


Figura 9.1

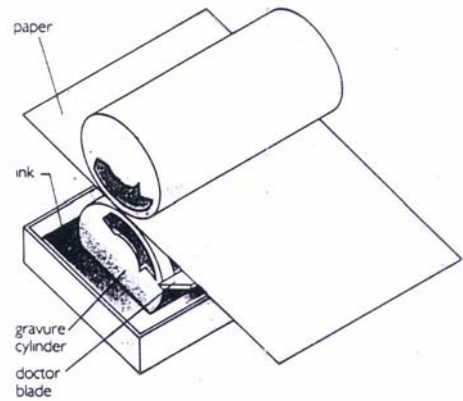


Figura 9.2

TIPOGRAFÍA

La superficie portadora de la imagen está por encima de la superficie base.

HUECOGRABADO

La superficie portadora de la imagen está por debajo de la superficie base.

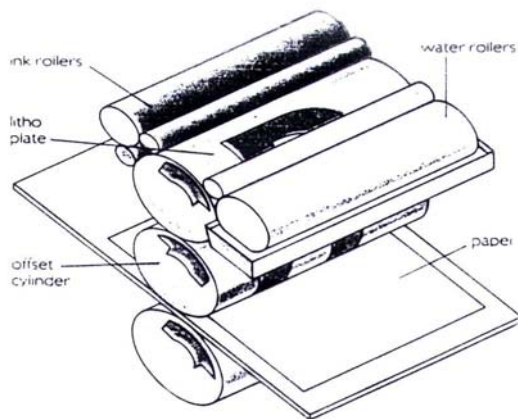


Figura 9.3

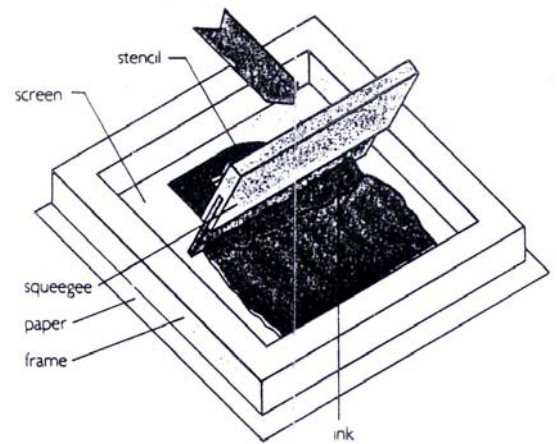


Figura 9.4

LITOGRAFÍA

La imagen y la superficie base son coplanares. Sólo la imagen tiene afinidad por la tinta.

SERIGRAFÍA

La imagen y la superficie base son coplanares. La imagen deja pasar la tinta a través.

Los métodos de estampación textil más utilizados, son:

- 1) Con **bloques de madera**. Es un método similar a la **tipografía**. Se talla la imagen en relieve en un bloques de madera que luego se entinta y se aplica sobre la tela. Este antiguo método no es apto para la producción en gran escala pero es aún utilizado por algunos artesanos, especialmente en Africa y en Asia.
- 2) La estampación por **huecograbado** es en cierto modo la inversa de la estampación con bloques de madera y es apta para estampar grandes cantidades de tela. Se realiza con máquinas que aplican la pasta de estampación con cilindros que tienen la imagen grabada en su superficie. La superficie no grabada se mantiene limpia de pasta de estampación.
- 3) **Serigrafía (plana y rotativa)**. Es por ahora el método más usado. Tiene la ventaja que opera a bajas presiones, lo que es más apropiado a las características del textil. El sistema artesanal o a la "lionesa" permite producciones en pequeñas escala, colocándose la tela a estampar extendida y adherida sobre una mesa. La longitud de esta mesa dependerá del artículo o de la cantidad de tela a estampar, del espacio disponible y del volumen de producción de la estampería. En general, pueden tener unos pocos metros a 50 metros de longitud.

Se prepara un cuadro o "schablon" armado con una malla perforada (en general, una tafeta de poliamida o poliéster en trabajos artesanales, o metálica en equipos automáticos de alta producción). Esta es la superficie portadora de la imagen a través de la que pasará la tinta o "pasta", que "estampará" la tela.

Para grandes volúmenes de producción, las máquinas automáticas pueden ser *planas*, con "schablon" planos, o *rotativas*, más veloces y con "schablon" cilíndricos. Estos "schablon" son hechos con mallas metálicas que pueden tener hasta 2275 orificios por cm², lo que permite una gran resolución de imagen.

- 4) **Termotransferencia**. Es un método utilizado cuando se desea estampar diseños extremadamente complejos y de alta superficie de cubrimiento. La tela se pasa a presión, a través de rodillos calientes, junto con un papel que lleva el diseño previamente impreso con colorantes termotransferibles. La imagen es "termo-transferida" del papel a la tela.
- 5) **"Jet" de tinta**. El diseño se realiza en una computadora y se "imprime" directamente sobre la tela, en una impresora de "chorro de tinta". La estampación de pocos metros resulta de menor costo que en el caso de la serigrafía convencional. Sin embargo, para producciones de elevados metrajés es más caro, debido al alto precio que aún tienen las tintas. Actualmente se utiliza sólo para producir muestras o partidas muy pequeñas y exclusivas, pero es probable que en el futuro sustituya a los métodos descritos anteriormente, más largos y complicados.



Fig. 9.5 - Estampación con bloques de madera

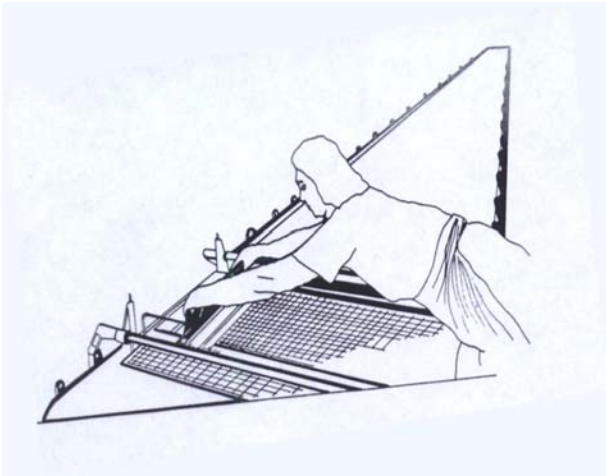


Fig. 9.6 - Estampación a la "Lionesa" con "schablon"



Fig. 9.7 - Estampación plana con "schablons"



Fig. 9.8 - Estampación rotativa en hucograbado

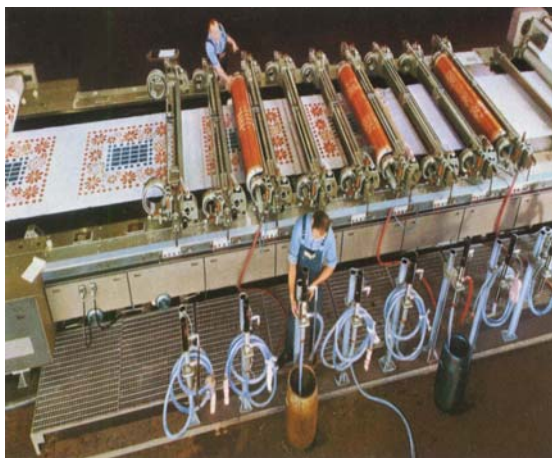


Fig. 9.9 - Estampadora rotativa "Reggiani"

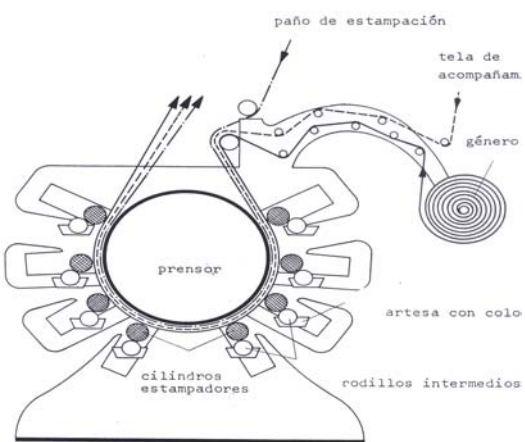


Fig. 9.10 - Estampadora de cilindros

2.0.0- EL GRABADO DE LA IMAGEN EN LA SUPERFICIE SERIGRÁFICA

Es una operación clave para obtener diseños de buena definición y calidad. En el caso de la serigrafía plana, en los “cuadros” o “schablonos” se coloca, bien estirada, una malla de tela especial (generalmente una tafeta de filamentos de poliamida o poliéster). En el caso de la serigrafía rotativa se utilizan mallas metálicas, con las que se arma el cilindro de estampación. Estos materiales son suministrados por proveedores especializados, en más de 300 tipos de malla (*hilos/cm*) de acuerdo al diseño a estampar.

En el caso de la serigrafía rotativa, las mallas para el armado de los cilindros de estampación, son suministradas en rectángulos de diversas dimensiones. El lado más largo de la malla debe corresponder al ancho de la tela a estampar y, el lado más corto con el “paso” o perímetro del cilindro (*en general, la medida estándar es de 64 cm, pero se ofrecen también en otras medidas, a pedido del cliente*).

Las mallas se suministran en general, protegidas con una laca. Se les da forma cilíndrica, se desengrasan y se lavan cuidadosamente antes de aplicarles una capa de emulsión fotosensible. Una vez secada la emulsión fotosensible se coloca, bien ajustado sobre el cilindro, un film transparente o “película de enmascarar” (*p. ej. de acetato*) en el que está dibujado o impreso el diseño con tinta especial (*p.ej. tinta “china”*). Para cada color que contenga el diseño final a estampar, se debe preparar un cilindro o malla y un film transparente con el diseño parcial correspondiente a dicho color.

El cilindro de malla, revestido con la emulsión fotosensible y cubierto con la película transparente en la que se encuentra dibujado el diseño, es expuesto a luz ultravioleta de una lámpara halógena. Luego se retira la película transparente con el diseño (*que puede ser archivada por si es necesario repetir el trabajo en el futuro*) y se procede al “revelado”. Durante el “revelado”, la emulsión impresionada o expuesta a la luz se endurece y resiste el lavado que se hace a continuación. La emulsión que no estuvo expuesta a la luz (*por estar protegida por el diseño dibujado en la película transparente*) y la laca protectora que traía previamente la malla son, en cambio, eliminadas en el lavado.

El cilindro de malla ya con el diseño grabado se revisa para encontrar pequeños defectos y, si es necesario, se retoca manualmente. Luego se somete a un horneado para polimerizar y hacer menos frágil la imagen grabada. De esta forma el cilindro de malla queda pronto para colocarse en la máquina de estampación. La tinta o pasta de estampación pasará por los orificios de la malla que están libres (*pues no tienen emulsión endurecida*) y que corresponden al área del diseño.

Existen ahora alternativas más modernas como es el grabado del diseño con láser. El diseño se procesa en la pantalla de una computadora y se graba directamente desde allí sobre la malla protegida con una laca especial. Esta laca es “quemada” por el rayo láser en las zonas por donde deseamos que pase la tinta o pasta de estampación. De esta forma se obtienen diseños de una gran precisión y fineza de líneas (ref 5).

Estos métodos de grabación del diseño, que acabamos de describir para los cilindros de malla utilizados en la estampación **rotativa**, se utilizan también para grabar “cuadros” o “schablonos” **planos**.



Figura 9.11

Cilindros de malla y las telas estampadas con ellos



Figura 9.12

Estampación con impresora de "jet" de tinta, desde una PC

3.0.0- LA TINTA DE ESTAMPACIÓN

Los colorantes que se utilizan en la estampación serigráfica son, principalmente, de dos tipos: **pigmentos** (*insolubles en agua*) o **colorantes** propiamente dichos (*solubles, solubilizables o dispersables en agua*). La *estampación con pigmentos* es comparable a la aplicación de una pintura o tinta "en pasta" que, en general, no penetra profundamente en la tela sino que queda en la superficie. La "pintura" o "pasta de estampación" se prepara básicamente con: **1)** una *pre-dispersión de pigmentos*, generalmente de consistencia espesa o pastosa, **2)** un "ligante", generalmente una emulsión acuosa de un polímero sintético (*p.ej. acrílicos, estireno butadieno, etc.*). La *fase dispersa* de esta emulsión está constituida, principalmente, por micelas del polímero y, la *fase dispersante* por agua y, en menor proporción, solventes que facilitan la coalescencia de las micelas una vez que se forma un film sobre la tela, **3)** un "espesante", producido generalmente emulsionando un solvente alifático barato, p.ej. aguarrás, en agua. El espesante debe conferirle a la pasta de estampación una viscosidad adecuada para evitar que esta se "corra" al ser aplicada. La tela una vez estampada debe secarse, lo que puede hacerse a temperatura ambiente suspendiéndola en ganchos ubicados por encima de la mesa de estampación, o pasándola por un túnel de aire caliente o "rama", según el volumen de

producción de la estampería. Durante el secado, además del solvente del espesante, se evapora el agua del espesante y del “ligante”. Finalmente, sobre la tela quedan los pigmentos retenidos o “ligados” por el film flexible de polímero que debe acompañar los movimientos de la tela. Las telas estampadas con tintas o “pastas” pigmentadas tienen una “mano” más dura y una menor resistencia al lavado y al frote húmedo que las estampadas con *colorantes*. El costo de estampación es, en general, más barato que el de estampación con colorantes.

La *estampación con colorantes* puede considerarse como una *tintura por impregnación localizada* y la tela, en general, es totalmente penetrada por el color. Una pasta de estampación, con el colorante disuelto o dispersado en agua, se aplica sobre la tela. La pasta de estampación contiene, además del colorante, otros productos auxiliares (*en la Tabla 8.22 se dan algunas recetas típicas*)(ref. 2). Para que, finalmente, el colorante difunda y se fije en el interior del textil, la tela estampada debe ser sometida a una operación imprescindible: el **vaporizado**. La estampería debe disponer de un generador de vapor adecuado y la operación debe realizarse en forma apropiada de acuerdo al sistema fibra textil/colorante que sea del caso.

La estampación por “**descarga**” o “**corrosión**” es un método especial, diferente a los anteriores. Consiste en aplicar, sobre una tela teñida, una pasta que ataque o descomponga al colorante ya fijado en la tela. En general, se utilizan pastas que contienen agentes reductores como, por ejemplo, los formaldehído sulfoxilatos de sodio, calcio o zinc. Luego del vaporizado, el diseño queda en tono más claro sobre el color original de la tela.

4.0.0- EL VAPORIZADO

El **vaporizado**, es una operación final imprescindible en la estampación con colorantes. En hilandería la operación de vaporizado es también muy importante, para liberar al hilado de las tensiones provenientes del proceso de hilatura. Los equipos para el vaporizado de telas estampadas son, naturalmente, muy diferentes a los que se utilizan en hilandería.

Luego de estampada, la tela en general se seca para evitar que al manipularla los colores se corran. Queda entonces recubierta de una capa relativamente seca de espesante y colorante. Durante el **vaporizado** el espesante absorbe humedad y forma un gel concentrado en colorante (*y productos auxiliares*). También se produce un hinchamiento de la fibra que, en el caso de la lana, puede ir acompañada de algunos cambios químicos y estructurales. Estas condiciones húmedas facilitan la difusión del colorante hacia la fibra.

Las características del vapor empleado y su homogénea distribución dentro del vaporizador, son de fundamental importancia para el éxito de la operación. En general se utiliza **vapor saturado libre de aire** (*es decir, en equilibrio con agua líquida, a presión atmosférica, y por tanto a 100°*). Si el vapor saturado es muy húmedo (*con microgotas de agua en suspensión*), puede producirse una dilución excesiva del gel y un corrimiento o “sangrado” del diseño. Por otra parte, una mala distribución de vapor dentro del equipo puede dar como resultado que, en algunos lugares, la capa de espesante permanezca seca y no se produzca una adecuada difusión y fijación del colorante dentro de la fibra.

Cuando un textil frío, a p.ej. 20°C, entra en una atmósfera de vapor saturado se produce una condensación de agua con liberación de calor (*539 cal/g*). La temperatura del textil asciende a 100°C en fracciones de segundo (*o a más temperatura si se produce alguna reacción exotérmica*), hasta alcanzar un equilibrio. Si por ejemplo, introducimos una tela de algodón, con un 7% de “regain” y 20°C, en una atmósfera de vapor saturado a 100°C, se produce un aumento del contenido de humedad de la fibra de aproximadamente 5,5 % . En otras fibras, el aumento es del mismo orden y, en general, es suficiente para que la disolución y difusión, de la mayoría de los colorantes, ocurra a velocidades aceptables. En cambio, en el caso de la estampación de

poliéster o triacetato con colorantes dispersos, es necesario utilizar vapor saturado a temperaturas y presiones más altas o utilizar **vapor sobrecalentado** a 140°C.

En algunas telas de *poliéster*, o de poliéster/algodón, estampadas con colorantes dispersos y reactivos, el *vapor a altas temperaturas* puede causar la hidrólisis del poliéster y promover la producción de monómeros y oligómeros, que generan inconvenientes de diversos tipos como el manchado de las telas e incrustaciones en los equipos de tintura, entre otros problemas. En esos casos es mejor hacer el fijado del colorante con **aire caliente** en un túnel de aire caliente o “rama”, hasta temperaturas de 160-230°C durante 5 a 30 segundos (*proceso Termosol*). Cuando se stampa con **pigmentos**, en lugar de colorantes solubles, es también necesario secar la tela estampada con **aire caliente** si bien no a temperaturas tan altas. El valor máximo y el tiempo de elevación de la temperatura del aire serán determinados por el tipo de tela (*estructura y peso*) así como las características del equipo utilizado. El **vapor**, sin embargo, tiene la ventaja de una mayor capacidad de transferencia de calor con respecto al **aire**. Es también una barrera contra la oxidación que puede inducir el oxígeno, lo que en algunos tipos de tintura o estampación puede ser un gran inconveniente.

Los vaporizadores pueden ser continuos o discontinuos, de acuerdo al volumen de material a tratar. Los vaporizadores continuos en general tienen tiempos de retención que pueden ir de los 5 a los 55 minutos, según el tipo de tela y de colorantes utilizados. Dependiendo de su diseño pueden trabajar a presión atmosférica o presiones más altas para alcanzar así temperaturas superiores a los 100°C, de manera de poder disminuir el tiempo de la operación y/o procesar telas de poliéster y sus mezclas. En las figuras siguientes se muestran algunos equipos vaporizadores. El vaporizador “en estrella” es uno de los vaporizadores discontinuos que se ha utilizado más, pues permite cargar la tela sin tensiones y sin que se toque la superficie estampada con el reverso no estampado o con los soportes o guías de la tela. En general, permiten trabajar tanto a presión atmosférica como a altas presiones (*ref. 3 y 4*).

Ejercicio:

Una tela de poliéster estampada con colorantes dispersos, de 240 cm de ancho, de 125 g/m², con 3 % de humedad inicial y 20°C de temperatura inicial, debe ser calentada a 175°C pasándola por un vaporizador continuo a una velocidad de 30 m/min. Al vaporizador se inyecta vapor sobrecalentado a 400°C. ¿Qué cantidad de kg/h de vapor serán necesarios?

Respuesta

Peso de la tela = $2,40 \times 0,125 \times 30 \times 60 = 540$ kg/h

Calor latente de evaporación del agua = 539 kcal/kg

Calor necesario para evaporar la humedad de la tela = $540 \times 0,03 \times 539 = 8732$ Kcal/h

Calor específico del poliéster = 0,34 kcal /kg / °C

Calor necesario para calentar la tela = $540 \times 0,34 (175 - 20) = 28458$ Kcal/h

Perdida de calor al aire del vaporizador (estimada) = 30.000 Kcal/h

Calor total necesario = $8732 + 28458 + 30.000 = 67190$ Kcal/h

Calor específico del vapor (entre 175°C y 400°C) = 0,48 kcal /kg / °C

Calor liberado por el vapor sobrecalentado = $0,48 (400 - 175) = 108$ Kcal / kg

Cantidad de vapor necesario = $67190 / 108 = 622$ kg/h

Utilizando vapor sobrecalentado de menor temperatura, p.ej. de 350°C, tendríamos:

Calor liberado por el vapor sobrecalentado = $0,48 (350 - 175) = 84$ Kcal / kg

Cantidad de vapor necesario = $67190 / 84 = 800$ kg/h

Es decir que, cuanto más baja la temperatura del vapor sobrecalentado más cantidad de vapor debemos usar. En general, esto representa mayores costos.

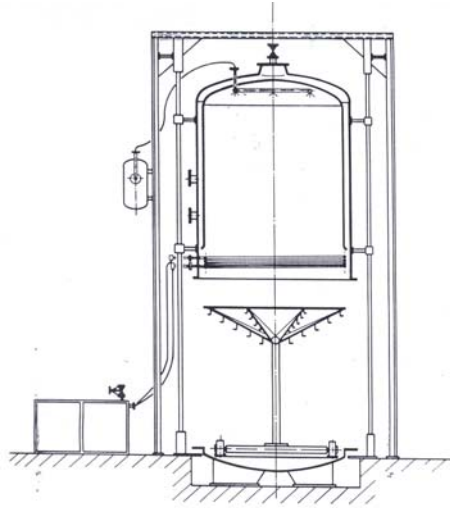


Figura 9.13

Vaporizador de "estrella"

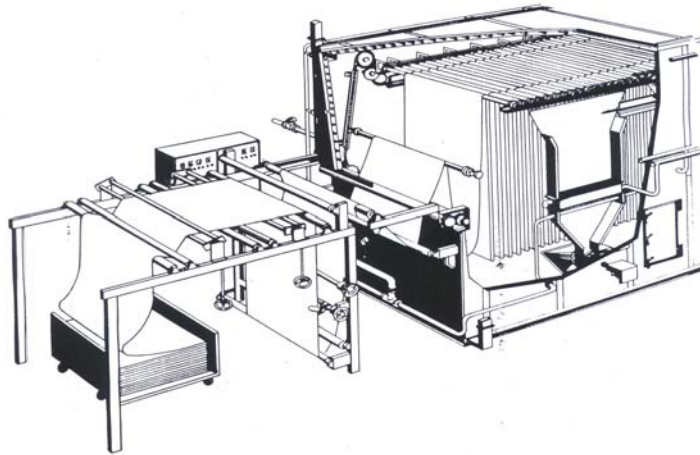


Figura 9.14

Vaporizador de "bolsas colgantes"

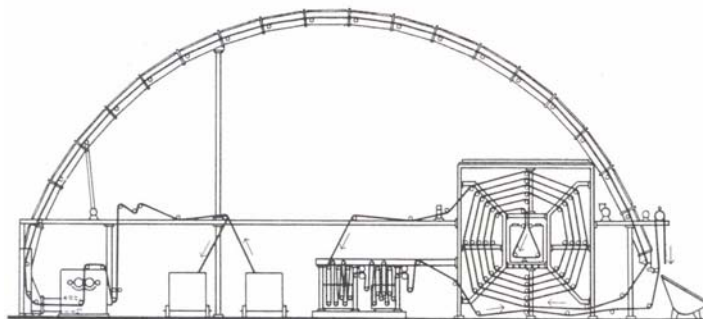


Figura 9.15

Vaporizador de "arco"



Figura 9.16



Figura 9.17



Figura 9.18



Figura 9.19



Figura 9.20



Figura 9.21

Figuras 9.16 a 9.21
ESTAMPADOS ANTIGUOS

Por su orden, 1) estampado con bloques de madera grabados (1770), 2) estampado con placa de cobre grabada (1769), 3) "chintz" estampado con motivos florales en barras (1790-1800), 4) "chintz" estampado con bloques de madera (1805), 5) "chintz" floral estampado con rodillos de madera (1835), 6) "chintz" estampado con diseño de William Morris (1875). "Chintz" es el nombre tradicional de telas, generalmente de algodón, teñidas o estampadas, con una terminación que les confiere una mano firme y suave y aspecto brillante. Se utilizan frecuentemente en tapicería.

5.0.0- WILLIAM MORRIS (1834-96)

William Morris, es probablemente el diseñador británico que ha ejercido mayor influencia en el moderno desarrollo de las artes decorativas. Tuvo una personalidad brillante y multifacética. Fue artista, diseñador, restaurador, empresario, escritor, poeta y político. Comenzó como *pintor* "prerrafaelista" pero pronto dirigió su interés a las artes aplicadas. Se destacó como *diseñador* de muebles, tapices y papeles pintados, azulejos y en general en todo lo vinculado al diseño de interiores. *El estampado textil fue uno de sus grandes intereses y donde su influencia fue más notoria y extraordinaria.*

Fue uno de los principales ideólogos del movimiento "Art and Craft" por el que se trataba de rescatar el valor y la belleza de la artesanía, en gran medida avasallada por la Revolución Industrial y la producción en serie. Rechazó el mercantilismo en el arte, luchando por un arte hecho por la gente y para la gente y como una manifestación de felicidad tanto para el que hace el objeto artístico como para el que lo usa.

Fue también un extraordinario *restaurador* y *conservacionista* de valiosos edificios antiguos y de obras de arte en general, afirmando el gusto y el respeto por el legado artístico del pasado.

Como *empresario* supervisaba directamente la producción de las artesanías con extraordinaria dedicación al trabajo manual y a los detalles técnicos. La estampación textil fue una de las actividades en la que más investigó, profundizando en el conocimiento de los colorantes y otros materiales de estampación, lo que le permitió desarrollar fórmulas y técnicas que le conferían a sus telas estampadas un colorido, brillo, solidez y precisión de diseño, no logrados hasta entonces. Muchas de sus obras pueden verse aún hoy en el *Museo de Victoria y Alberto*, en Londres.

Finalmente como poeta, escritor y político luchó siempre por los más altos ideales de la libertad de pensamiento y de la justicia social, participando activamente en la vida política de la Inglaterra de fines del siglo 19. (ref. 1 y 6)



Figura 9.22

William Morris, fotografía tomada en la década de 1870 (ref. 1)



Figura 9.23

El taller de estampación instalado por Whillam Morris, en 1881, en Merton Abbey , Surrey (ref. 5)

TABLA 9.2
ALGUNAS RECETAS TÍPICAS DE ESTAMPACIÓN CON COLORANTES

COMPONENTE	ALGODÓN	POLIÉSTER	LANA
Colorante Directo, %	2,0-4,0	-	-
Colorante Disperso, %	-	2,0-4,0	-
Colorante Ácido, %	-	-	2,0-4,0
Agua, %	35,0-57,5	39,0-46,0	22,5-30,5
Urea (1), %	10,0-20,0	-	5,0-7,0
Tiodiglicol o metil carbinol (2), %	-	-	5,0-7,0
Clorato de Sodio (3), %	-	-	1,0-1,5
Humectante, %	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0
Carrier (tipo para-fenilfenol u otro) (4), %	-	1,0-5,0	-
Ácido Cítrico, glicólico, etc. (5), %	-	0,5-1,0	-
Sulfato de Amonio (5), %	-	-	6,0-7,0
Espesante (alginatos, goma guar, etc.), %	30,0-40,0	50,0	50,0

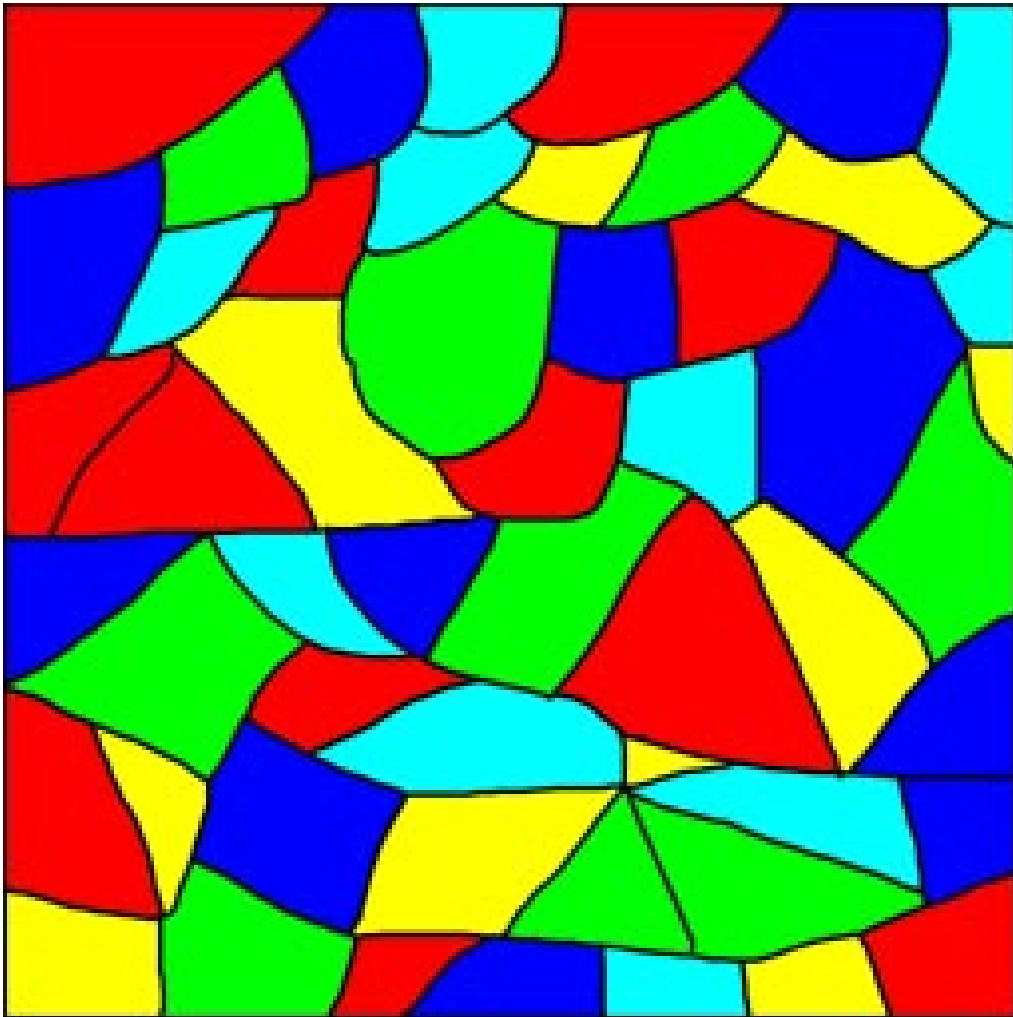
(1) La urea, como agente hidrotópico, ayuda a la disolución del colorante en la pasta de estampación. Mejora también la humectación y el hinchamiento de la fibra y facilita la penetración del colorante durante el vaporizado. (2) Solventes que ayudan a la disolución del colorante en la pasta de estampación. (3) Actúa como agente antireductor, protegiendo al colorante de la acción reductora de la lana durante el vaporizado. (4) Actúa como plastificante, separando las cadenas poliméricas, en las zonas amorfas de la fibra poliéster y, facilitando la difusión del colorante. (5) reguladores del pH

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "English Chintz". *Ciba Review*, 1961/1
- 2- "Review of Printing", I.W.S, Development Centre, Valley Drive, Ilkley, England
- 3- "Stork Screens", *Stork Screens International Group*.
- 4- "Textile steamers". P. Senner, *Ciba Review*,
- 5- "Dye fixation with steam", L.W.C.Miles, *Ciba Review*,
6. "That Business about Steam Ager", *MS Machinery and Systems S.R.L., Italia, 1995*
- 7- "William Morris", Ed. by Linda Pary, *Philip Wilson Publishers, Londres, 1996*

CAPÍTULO X

EL COLOR *SU PERCEPCIÓN Y MEDICIÓN*



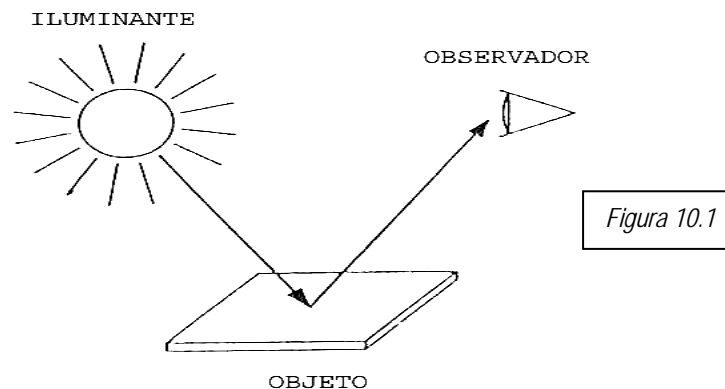
JUAN CARLOS PESOK
Montevideo
2012

CONTENIDO**PÁGINA**

1.0.0-	LA PERCEPCIÓN DEL COLOR.....	3
1.1.0-	Los iluminantes.....	4
1.2.0-	La incidencia de la energía luminosa sobre el objeto.....	6
1.3.0-	El ojo humano como receptor del estímulo luminoso.....	9
1.4.0-	Color y evolución.....	11
1.5.0-	La visión daltónica.....	12
1.6.0-	La curva tipo de luminosidad relativa.....	13
1.7.0-	Colores primarios de adición y de sustracción.....	15
2.0.0-	LA MEDICIÓN DEL COLOR.....	18
2.1.0-	Las curvas de sensibilidad espectral del ojo humano.....	19
2.2.0-	La metamería.....	23
2.3.0-	Coeficientes de distribución del iluminante.....	23
2.4.0-	Diagramas de cromaticidad y espacio cromático.....	23
2.5.0-	Sistema "CIELAB 76".....	28
2.6.0-	La medición de las diferencias de color.....	30
2.7.0-	Tolerancias de color CMC y CIE 94.....	32
2.8.0-	Sistema NCS (" <i>Sistema Natural de Color</i> ").....	35
2.9.0-	Los equipos de medición del color.....	36
2.10.0-	La notación Munsell.....	39
3.0.0-	BIBLIOGRAFÍA	43
4.0.0-	APÉNDICE 1.- GENERALIDADES SOBRE ILUMINACIÓN.....	44

1.0.0-LA PERCEPCIÓN DEL COLOR

El color es una percepción resultante de un proceso neurológico que tiene lugar en nuestro cerebro y que se manifiesta en nuestra conciencia. Esa **percepción** del color es **la culminación de una cadena de eventos** en la que participan: **1) un iluminante** que emite energía radiante que incluye longitudes de onda entre los 400 y los 700 nanómetros, es decir energía radiante visible o luz, **2) un objeto**, que refleja o remite una fracción de la luz que recibe, emitida por el iluminante. El objeto también puede absorber y, si es translúcido, transmitir parte de la luz incidente emitida por el iluminante; **3) el ojo humano**, que recibe la luz reflejada o remitida por el **objeto** y transmite señales al cerebro, **4) el cerebro humano** que finalmente procesa y elabora las señales enviadas por el ojo a través del nervio óptico (*ver Fig. 10.1*).



En esta cadena de eventos puede ocurrir que falte alguno de estos eslabones. Naturalmente si falta el **iluminante** no podrá haber percepción de luz ni de color. Si falta el **objeto**, el observador podrá, de todas formas, percibir directamente los estímulos luminosos y de color que emita la **fuerza luminosa**. Por otra parte, si no existiera un **observador** no existiría ninguna percepción de color. Por tanto, si bien **el color** - junto con la forma, la textura, el brillo, la opacidad o la transparencia - forma parte de la **apariciencia** del objeto, **no puede considerarse como un atributo intrínseco ni del objeto ni del iluminante** sino que es, como ya lo señalamos, **una percepción de la mente humana**.

Muchas veces el color parece ser una propiedad de la superficie de los objetos, otras de un espacio (*como p.ej. el azul del cielo*), otras de un volumen (*como p.ej. el color del vino*), otras está asociado a la fuente luminosa. Pero imaginamos, recordamos y soñamos colores y el arte de la pintura transmite intensas emociones especialmente debido al uso del color que hace el artista. La percepción del color puede variar también según nuestro estado de ánimo, nuestra edad y salud. Esta percepción puede asociarse a sensaciones diversas como calor y frío, luminosidad y oscuridad, alegría y tristeza, reposo y movimiento, etc. **J.W.Goethe** (*ref.1*), estudió las relaciones que se pueden establecer entre las emociones humanas y el color y las expuso en su obra "**Teoría de los Colores**", publicada alrededor de 1810 (*ver 1.6.0, más adelante*). La percepción del color es, entonces, el resultado de una cadena de eventos en la que algunos ocurren en el mundo físico externo y otros en la conciencia del observador y la gran pregunta filosófica de **¿qué existe?** - para la que se han intentado diversas respuestas, desde el realismo aristotélico hasta las posteriores concepciones idealistas - puede encontrar en el fenómeno del color un interesante ejemplo para ahondar esa interrogante.

El color plantea muchas más Interrogantes que para tratar de responderlas se debe recurrir a diversas disciplinas como la física, la química, la fisiología óptica, la neurofisiología, la biología evolutiva, la psicología, la historia del arte, etc. lo que lo convierte en un tema apasionante.

1.1.0- LOS ILUMINANTES

La **energía radiante electromagnética** emitida por un cuerpo, por unidad de tiempo y por unidad de área, depende de la **naturaleza** de ese cuerpo radiante y de su **temperatura**. A **bajas temperaturas**, la **radiación por unidad de tiempo** es pequeña y la energía es casi toda de longitud de onda relativamente grande. Suponiendo un cuerpo sólido - que no cambia de estado ni entra en combustión - cuando la temperatura aumenta la radiación electromagnética emitida por unidad de tiempo, aumenta muy rápidamente (*proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta*). P.ej. un trozo de cobre a una temperatura de 100°C (373 K) irradia aproximadamente 0,03 vatios por cada cm² de superficie. A la temperatura de 500 °C (773 K) emite alrededor de 0,54 w/cm² y a 1000°C (1273 K) cerca de 4 w/cm², es decir 133 veces más que a 100°C. Para cada temperatura la energía electromagnética emitida es una mezcla de distintas **longitudes de onda**, como se muestra en la *Figura 10.2*.

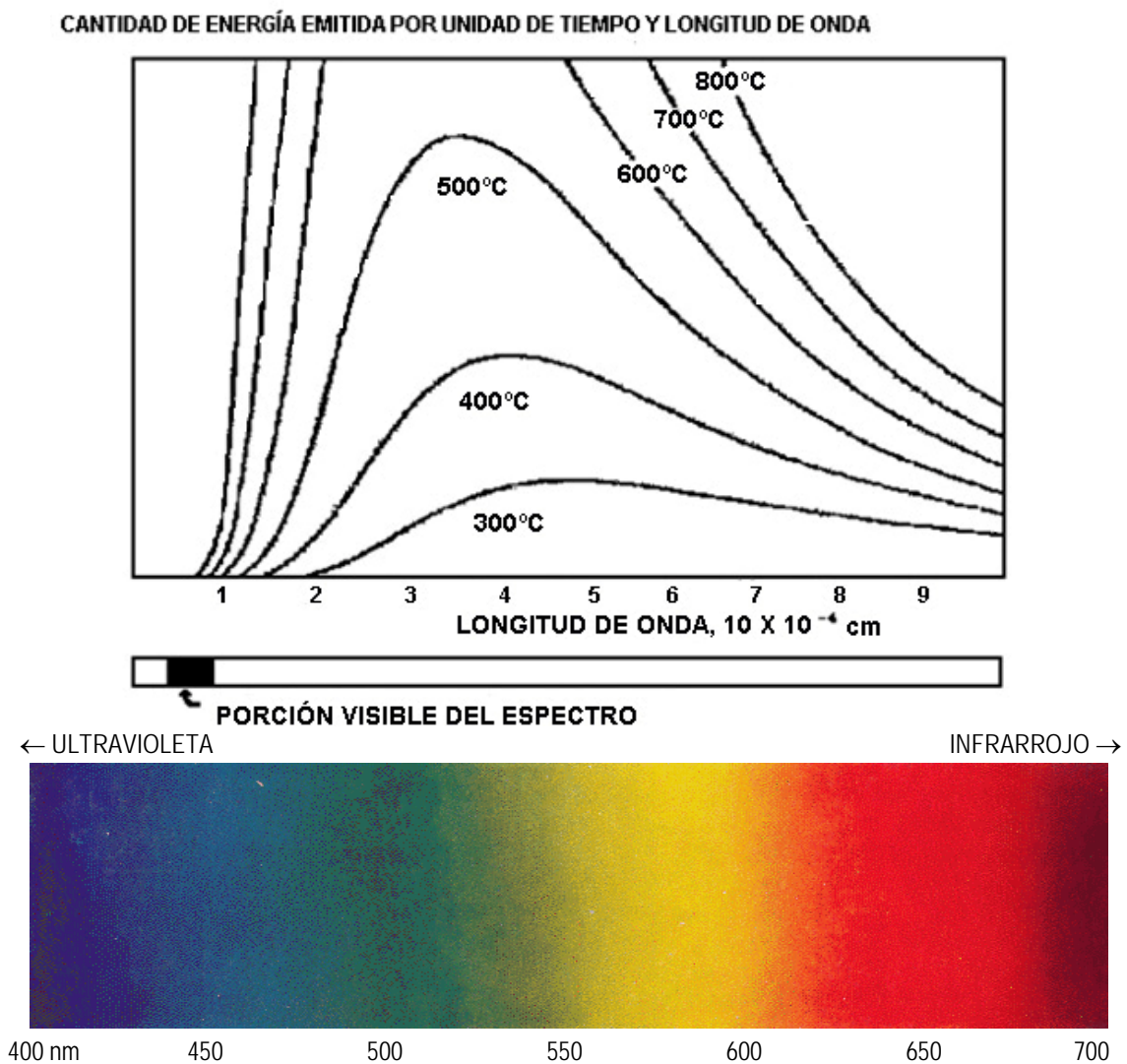


Figura 10.2

En la *Figura 10.2* el área comprendida entre cada curva y el eje horizontal representa la cantidad total de energía radiada por unidad de tiempo a dicha temperatura. La porción **visible** o de "energía luminosa" del espectro electromagnético corresponde a una estrecha franja que va aproximadamente de 0,4 a 0,7 $\times 10^{-7}$ cm ó 400 a 700 nm ó $m\mu$ ($1 m\mu = 1 nm = 10^{-9} m$).

A longitudes de onda menores a **400 nm** estamos en la región **ultravioleta** y por encima de 700 nm en la región **infrarroja**, ambas no visibles. A una temperatura de 300 °C, un cuerpo p.ej. metálico, emite prácticamente toda su energía en la región infrarroja (*si el cuerpo emisor está en una cámara oscura no le veríamos pero, colocándonos suficientemente cerca, percibiríamos la energía que emite como calor*). A 800 °C ese cuerpo ya emitiría suficiente energía visible para ser luminoso y se le vería rojo pero gran parte de la energía emitida pertenecería aún a la región infrarroja. A 3000 °C, que es la temperatura aproximada de un filamento de tungsteno de una lámpara incandescente, la energía emitida contendría ya ondas de todas las longitudes del visible.

A cada temperatura, entonces, un cuerpo **iluminante** tiene una **curva espectral de emisión característica** (Figura 10.2). Ese **iluminante** también puede ser caracterizado por su "**temperatura de color**" que es la temperatura **absoluta** - expresada en grados Kelvin - de un **cuerpo negro radiante** que, **a esa temperatura**, iguale el color del iluminante (*ver en tratados de Óptica la Ley de Stefan, el concepto de "emisor ideal" y otros temas relacionados*).

Los iluminantes pueden ser naturales o artificiales. Los naturales más importantes son el sol y la luz difusa del cielo límpido, cuya luz puede ser percibida de manera distinta según la hora del día, la estación del año, la latitud, etc. (*otros iluminantes naturales son la luna y las estrellas*). Iluminantes artificiales son p.ej. las lámparas incandescentes, las de descarga, etc. (*ver APÉNDICE I*).

Cuando se deben comparar o medir los colores de los objetos es importante definir precisamente el **iluminante** y el **ángulo de observación** bajo los que se van a observar esos objetos. Con ese fin la "**Comisión Internacional de le Eclerage (CIE)**" ha establecido una serie de "**iluminantes patrones**" de los que mencionaremos sólo algunos de los más importantes: **1)** el iluminante **A**, que corresponde al filamento de una lámpara de tungsteno operando a una temperatura de color de 2854 K, **2)** el iluminante **D65**, que representa la luz difundida por el cielo diurno despejado (*se obtiene con el iluminante A más un filtro azulado*) y tiene una temperatura de color de 6500 K, **3)** el iluminante **CWF** que representa la luz blanca fluorescente, **4)** el iluminante **D50** que representa la luz de día a 5000 K muy usado en artes gráficas y, **5)** el iluminante **D75**, que representa la luz del día a 7500 K y que es muy usado en la industria automotriz. Estos iluminantes están definidos precisamente por sus **curvas de distribución espectral** (Figura 10.4) o por tablas que dan los valores de esas distribuciones espectrales (*energía emitida vs. longitud de onda*).

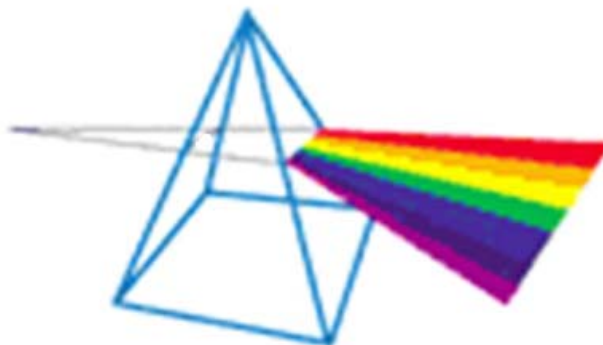


Figura 10.3

Isaac Newton descompuso luz blanca haciéndola pasar a través de un prisma de cristal y obtuvo luz de diversos colores que corresponden a un espectro de energía radiante comprendido aproximadamente entre los 400 y los 700 nanómetros.

1.2.0- LA INCIDENCIA DE LA ENERGÍA LUMINOSA SOBRE EL OBJETO

Si la **energía radiante** proveniente de un iluminante encuentra **materia** en su camino podrá ser **reflejada y/o absorbida** por esta, y/o **transmitida** a través de esta. Las proporciones relativas de energía reflejada, absorbida o transmitida serán diferentes según la naturaleza de la materia, su estado físico (*sólido, líquido o gaseoso*) y según las longitudes de onda de la radiación incidente.

En el caso de tratarse de **energía radiante luminosa**, la porción reflejada por la superficie de un **objeto sólido** y recibida por el ojo permitirá percibir la **forma** del objeto y su **color**, según las longitudes de onda que absorbe y refleja. P.ej. si un objeto se ve azul es porque refleja luz azul y absorbe casi todas las otras longitudes de onda.

La **relación porcentual** entre: **1)** la luz remitida o reflejada por la superficie de un cuerpo, para una determinada longitud de onda y, **2)** la luz que es reflejada por una **superficie blanca ideal** para esa longitud de onda, se conoce por "**reflectancia %**". La muestra y el patrón blanco tienen que observarse bajo las mismas condiciones de iluminación y el mismo ángulo para cada longitud de onda. La **curva de reflectancia** (*reflectancia % vs. λ*) es también una representación unívoca y objetiva del color del cuerpo en cuestión. Como el valor de la energía remitida o reflejada para cada longitud de onda es un valor relativo porcentual con respecto a la luz incidente para cada longitud de onda, la **curva de reflectancia %** es independiente del espectro de emisión del iluminante¹ (*Figuras 10.6 y 10.7*).

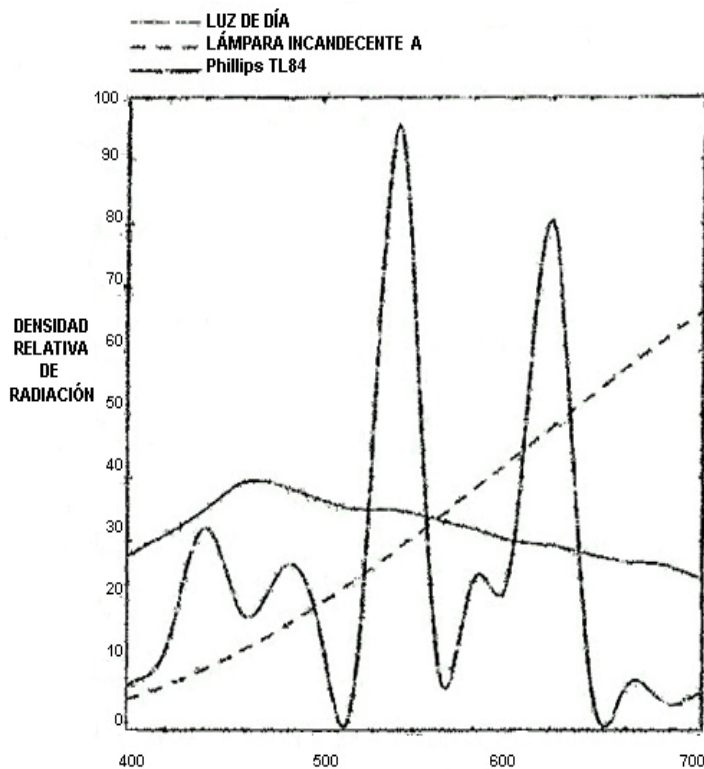


Figura 10.4 – **Espectros característicos de algunos iluminantes**

¹ Una excepción es el caso de que se trate de una muestra **fluorescente**, pues estas transforman una porción de la luz recibida a una dada longitud de onda, en otra de luz emitida a otra longitud de onda.

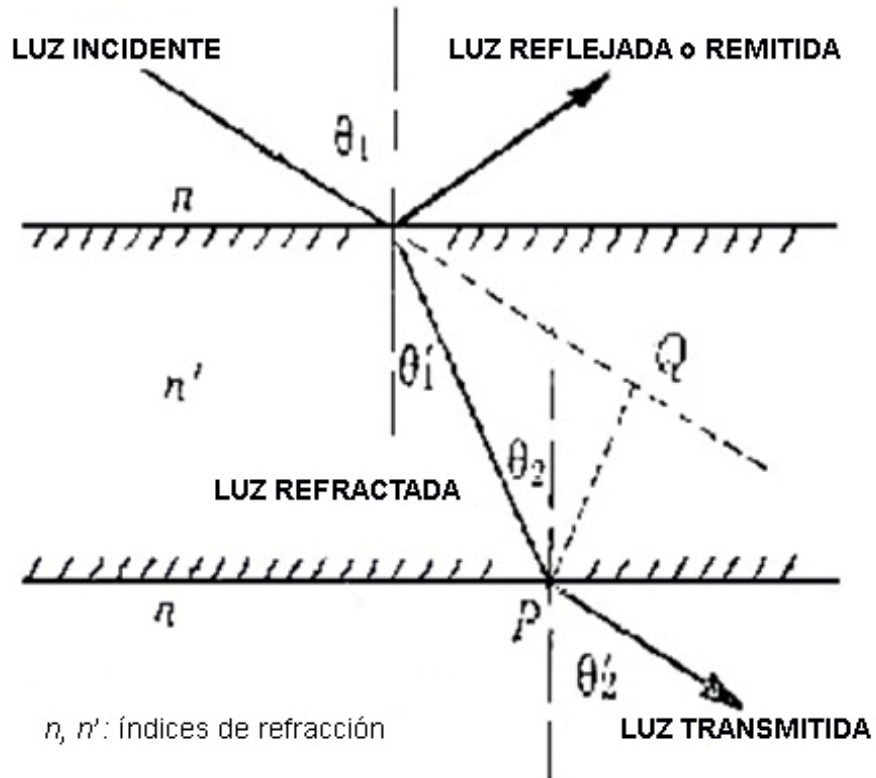


Figura 10.5- La luz reflejada o remitida es solo una fracción de la luz incidente

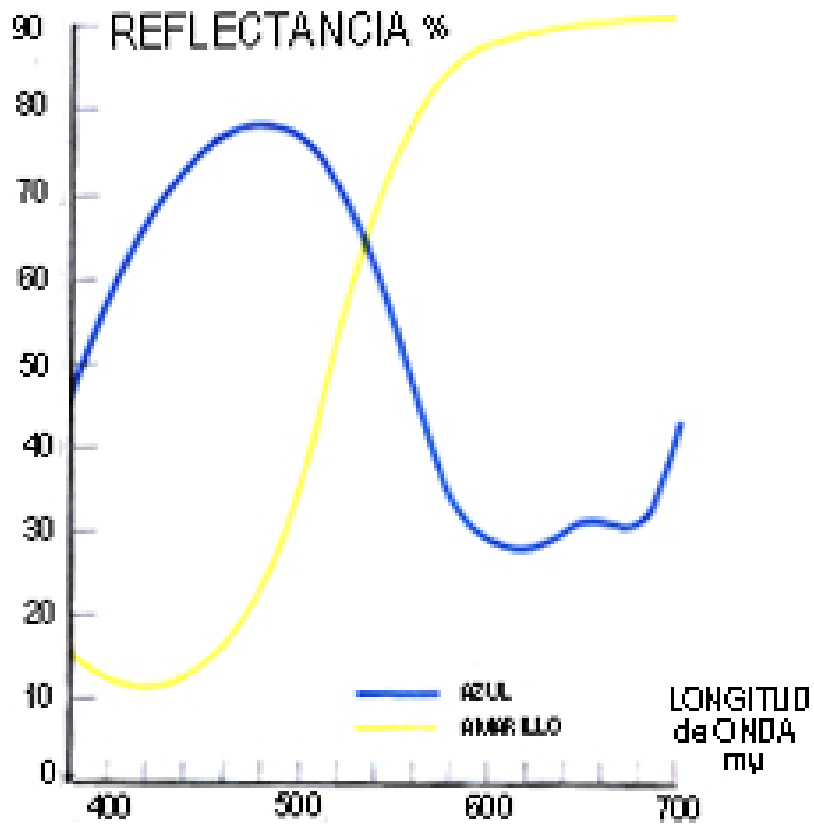


Figura 10.6- Curvas de reflectancia de una tintura azul y otra amarilla

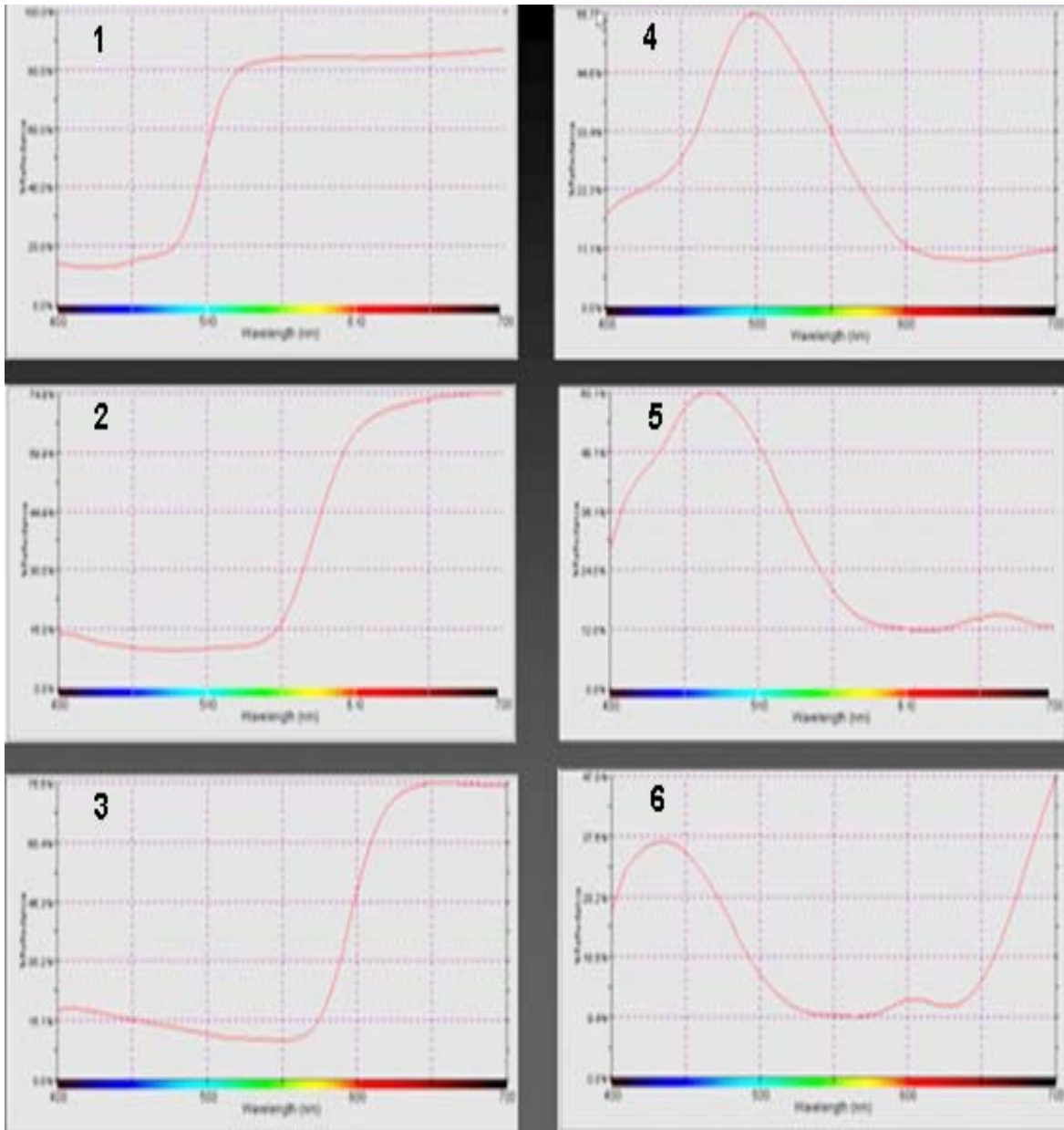


Figura 10.7

Curvas espectrales de objetos de color (1) **amarillo**, (2) **naranja**, (3) **rojo**, (4) **verde**, (5) **azul** y (6) **violeta**. Las curvas muestran la **reflectancia %** correspondiente a cada **longitud de onda** del espectro visible (de 400 a 700 nm). Si estos colores fueran de menor luminosidad las curvas serían más bajas.
 (Figuras tomadas de una presentación de la empresa DATACOLOR)

1.3.0- EL OJO HUMANO COMO RECEPTOR DE ENERGÍA LUMINOSA

El ojo humano es comparable a una cámara oscura, de paredes flexibles, en la que su forma se mantiene por la presión de los líquidos que contiene. En la *Figura 10.8* se muestra su estructura básica.

La **pupila** funciona como un diafragma y tiene un diámetro que puede variar desde aproximadamente **2 mm**, para altas intensidades luminosas, hasta aproximadamente **8 mm** para las muy bajas. El **crystalino** - que funciona como una lente contráctil que se adelgaza o engrosa por la acción de músculos que se insertan en cada uno de sus extremos - está compuesto de un material fibroso de varias capas, cada una con un índice de refracción que va aumentando gradualmente de afuera hacia adentro. La **retina** es una capa sensible a la luz, que está ubicada en la pared posterior del ojo y contiene dos tipos de células especializadas, sensibles a la luz: los **bastones** y los **conos**. Cada uno de estos **foto-receptores** se conecta con el cerebro a través del nervio óptico.

Hay unos **110 a 130 x 10⁶ bastones** - sensibles aún a muy pequeños niveles de iluminación - que son responsables por las sensaciones acromáticas de luz y de oscuridad (*visión escotópica o nocturna*). Poseen un pigmento llamado **rodopsina**. Son tan sensibles que pueden registrar la absorción de un simple fotón.

Por otra parte, hay unos **6 a 7 x 10⁶ conos** que funcionan a mayores niveles de iluminación (*visión fotópica o diurna*) y son responsables de la percepción del color. Ver color significa poder discriminar entre energías luminosas con diferentes composiciones espectrales y por tanto, **para que el cerebro pueda comparar**, se necesitarán **por lo menos dos** diferentes tipos de foto-receptores o conos, cada uno sensible a diferentes longitudes de onda o a composiciones espectrales diferentes. En el ojo humano existen **tres tipos de conos**: **1)** los sensitivos a bajas longitudes de onda (**425 nm**) o luz **azul**, que contienen un pigmento azul llamado **cianolabe**, **2)** los sensitivos a longitudes de onda medianas (**530 nm**) o luz **verde**, que contienen un pigmento verde llamado **clorolabe** y, **3)** los sensitivos a la luz de longitudes de onda más altas (**560 nm**) o luz **roja**, que contienen un pigmento rojo llamado **eritrolabe**. Estos pigmentos consisten en una variante de la proteína **opsina** unida a una pequeña molécula estrechamente ligada a la vitamina A, el **retinal**. Se considera que la **rodopsina**, responsable de la visión a muy bajos niveles de luminosidad es similar, en estructura química y en características de absorción, al pigmento de los conos más sensibles a las longitudes de onda de la mitad del espectro visible (**verde-amarillo**) y que la **rodopsina** evolucionó a partir de este, hace cientos de millones de años atrás (ver 1.6.0 "curva tipo de luminosidad relativa" o de "eficacia luminosa del ojo humano")

Los **conos** y los **bastones** no están uniformemente distribuidos en la retina. Hay en la retina una pequeña zona, **la fovea**, donde no existen **bastones** y predominan los **conos**. En la **fovea** hay sin embargo mucho menos cantidad de **conos** sensibles al **azul** que sensibles al **verde** o al **rojo**. Una vez que el estímulo lumínico alcanza a los **foto-receptores**, tanto **conos** como **bastones**, se genera un impulso nervioso que viaja a través del nervio óptico hasta el cerebro, donde de alguna forma **se comparan las señales azul, verde y roja recibidas de los tres tipos de conos, con las señales de intensidad lumínica de los bastones** para, finalmente, elaborar la sensación o percepción de color. El estudio de cómo ocurre esto es uno de los temas más apasionante de la neurofisiología. **La sensación de color sería generada entonces no solamente por las señales emitidas al cerebro por cada tipo de cono sino, fundamentalmente, por la comparación que hace este entre esas señales**. La teoría hasta ahora aceptada plantea que el cerebro hace **tres** comparaciones simultáneas de las señales que recibe de los **tres** tipos de conos: **1)** compara la intensidad de la señal de los conos "**rojos**" con la de los conos "**verdes**" para producir una señal "**rojo/verde**", **2)** compara la intensidad total de

las señales de los conos "**rojos**" y "**verdes**" con la de los conos "**azules**" creando una señal "**amarillo/azul**" y, **3**) compara las señales provenientes de todos los conos y bastones contra un valor nulo para producir una señal de "**luminosidad / oscuridad**". Esto explicaría el hecho de que **todos los colores se pueden obtener y percibir como una mezcla o adición de tres primarios: rojo, verde y azul** (ver 1.7.0 "primarios de adición"). Estas características de la percepción del color condicionan también "*a priori*" la tecnología que el ser humano utiliza para comparar y medir el color.

Como consecuencia, entonces, de su particular sistema de registro, el color es percibido con tres atributos: **1) matiz**, según sean las **longitudes de onda** predominantes de la luz que recibe el ojo (*p.ej. rojo, azul, amarillo, etc.*), **2) luminosidad**, según la **cantidad** de energía luminosa que llega al ojo y, **3) saturación o pureza** según **la relación** de energía asociada a la longitud de onda predominante, con respecto a la asociada con el resto de las longitudes de onda que llegan al ojo.

La **percepción aparente** de un color varía con los colores que pueda tener en su proximidad. Es decir **un mismo** color se verá diferente según que colores haya en su vecindad más próxima. Esto es debido a la superposición de estímulos que llegan al cerebro. **Tiziano**, uno de los mayores exponentes de la escuela veneciana renacentista, fue uno de los primeros pintores en percibir este fenómeno. Más recientemente el pintor **Carlos Cruz Diez**, representante destacado del arte óptico y cinético moderno, también explora y desarrolla esta interesante propiedad del color con resultados espectaculares (*Ref. 20*) (ver Figuras 10.15, 10.16, 10.17 y 10.18).

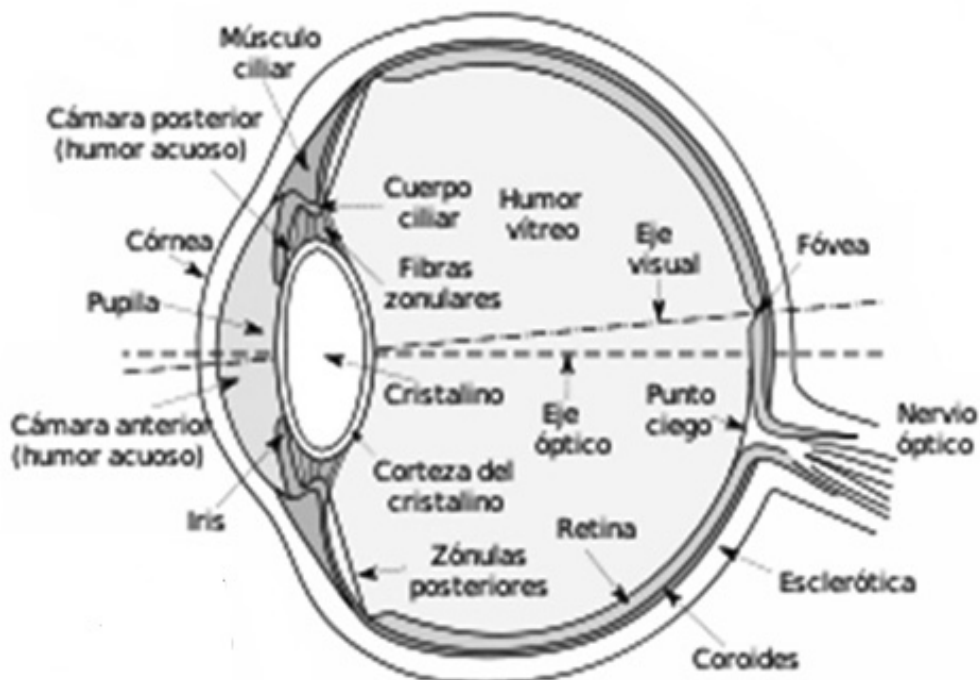


Figura 10.8 - El ojo humano

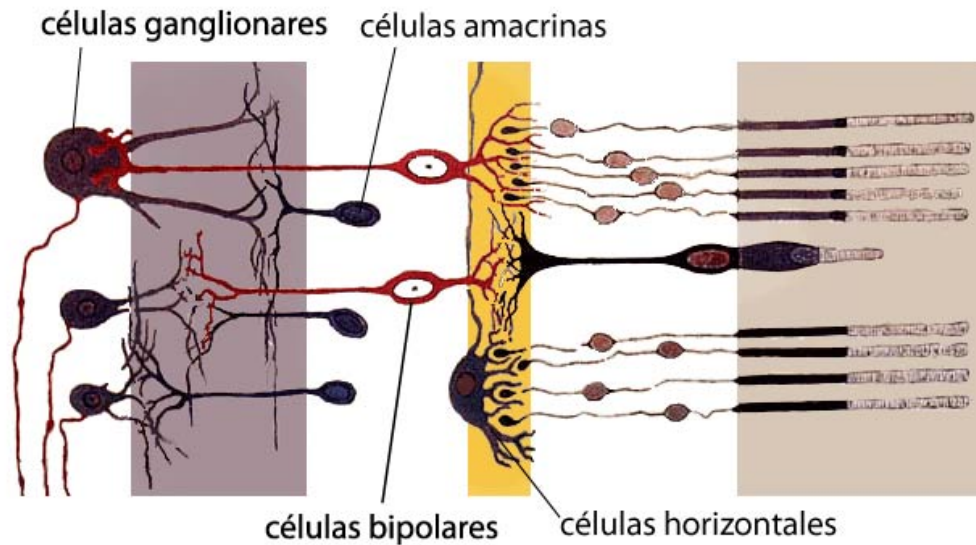


Figura 10.9– Esquema simplificado de la retina del ojo humano adaptado de un dibujo de *Santiago Ramón y Cajal*. La luz entra por la izquierda y debe atravesar todas las capas celulares hasta llegar a los conos y bastones que se encuentran a la derecha del esquema.

1.4.0 - COLOR Y EVOLUCIÓN

Es muy importante tener en cuenta que la visión del color es resultado de la **evolución biológica**. La sensibilidad a la luz de la **retina** de los seres vivos, partiendo de una visión **acromática**, ha tenido sucesivas diferenciaciones. Actualmente, por medio de la genética y la biología molecular, se ha estudiado el **DNA** de especies contemporáneas y se ha podido determinar como los **conos** y sus **pigmentos** han ido cambiando a medida que los **vertebrados** han evolucionado. Muchos vertebrados como los **peces**, **reptiles** y **aves** tienen visión **tetracromática**, es decir tienen cuatro tipos de conos, cada uno conteniendo un pigmento sensible a una longitud de onda diferente: **370, 445, 508 y 565 nm**. Debido al cono sensible a **370 nm** estos animales son sensibles a las radiaciones del ultravioleta cercano.

Los **vertebrados mamíferos** en cambio, durante las etapas iniciales de la evolución, habrían perdido dos de estos cuatro tipos de conos. Seguramente dejaron de serles útiles pues salían de sus madrigueras solo de noche, para defenderse mejor de los grandes reptiles o dinosaurios. No necesitaban entonces más que una visión **dicromática**. Luego de la extinción de los dinosaurios, los mamíferos comenzaron a diversificarse, se hicieron más corpulentos y muchos adoptaron **hábitos diurnos**. A partir de entonces, en otra etapa evolutiva, un grupo de vertebrados mamíferos, los **primates**, recuperaron un tercer tipo de cono y adquirieron una visión **tricromática**. La recuperación de la visión **tricromática** de los primates como consecuencia de su actividad diurna les daba, entre otras cosas, la ventaja adaptativa de poder diferenciar frutos y depredadores en medio de la vegetación verde. Esta "recuperación" se logró mediante duplicación y subsiguiente mutación del gene correspondiente a uno de los pigmentos remanentes de la visión dicromática. Desde entonces los **primates superiores** y los **humanos** que evolucionaron a partir de ellos, poseen visión **tricromática** (*frente al resto de los mamíferos que siguen siendo dicromáticos*) (ref. 21).

Las **aves**, la mayoría de los **reptiles**, las **tortugas** y muchos **peces**, retuvieron los cuatro tipos de conos y con una visión **tetracromática** son capaces de ver **muchísimos más colores que los humanos**. Además, la visión de las aves y los reptiles presenta otra ventaja extra: sus conos tienen una **gota de aceite coloreado**, rico en **carotenoides**, que dejó de estar presente en los conos de los mamíferos hace millones de años. Esta gota, en cada **cono**, actúa de filtro para las

longitudes de onda más cortas, estrechando el espectro alrededor de la longitud de onda para la que es sensible el **cono**, aumentando así su especificidad, con lo que se aumenta aún más la cantidad de colores que pueden ver estos animales.

1.5.0 – LA VISIÓN DALTÓNICA

El término **discromatopsia** se utiliza para señalar aquellos trastornos que afectan la visión de los colores. La **discromatopsia** de origen genético se denomina **discromatopsia congénita** o **daltonismo**. Existen también **discromatopsias** que no son de origen genético sino consecuencias de enfermedades de la retina o del nervio óptico. El nombre de "**daltonismo**" para el trastorno genético proviene del físico y matemático **John Dalton** que padecía una de sus variantes. Existen varios tipos de **daltonismo** que van desde:

1) La **ausencia** de sensibilidad en los **tres** tipos de conos. Este tipo de defecto es muy poco frecuente y es conocido como **acromatopsia** o ausencia de visión coloreada. Quien la sufre puede percibir solo distintas intensidades de luminosidad pero no color y se estima que se da solo un caso entre 100.000 personas.

2) La **ausencia** de sensibilidad en **dos** tipos de conos. Este tipo de defecto generaría una visión **monocromática** y por tanto también **acromática** sin distinción entre luz y color, pues no existirían dos señales diferentes para ser comparadas. Es también muy poco frecuente.

3) La **ausencia** de sensibilidad en solo **uno** de los tres tipos de conos. Con este tipo de defecto se tendría una visión **dicromática**, como la de la mayoría de los mamíferos. También es poco frecuente y puede ser de tres tipos diferentes: a) **protanopia** con ausencia total de conos sensibles al **rojo**, b) **deuteranopia** con ausencia total de los conos sensibles al **verde**, c) **tritanopia** que es una condición muy poco frecuente en la que están ausentes los conos sensibles al **azul**.

4) Finalmente puede haber **no ausencia** pero si solo **disminución** de sensibilidad en **uno, dos o tres** tipos de conos, con lo que se tendría una visión **tricromática** pero **anómala**. El afectado posee sensibilidad en los tres tipos de conos, pero con defectos funcionales, por lo que confunde un color con otro. Es el grupo más abundante y común de daltónicos. Suelen tener defectos similares a los daltónicos dicromáticos, pero menos notables. Correspondientemente a lo señalado en el párrafo anterior, las afecciones que se incluyen dentro de este grupo son la **protanomalia** (1% de los varones, 0.01% de las mujeres), la **deuteranomalia**, que es la más usual (4,5 % de los varones, 0.4% de las mujeres) y la **tritanomalia** muy poco frecuente (0.01 % de los varones y 0.01% de las mujeres).

Aunque como vimos existen muchos tipos de daltonismo, el 99% de los casos corresponden a **protanopia** y **deuteranopia** o a sus correspondientes **protanomalia** y **deuteranomalia**. Estos defectos hereditarios se transmite generalmente por un **alelo recesivo** ligado al **cromosoma X**. En el caso de la **protanomalia** y **deuteranomalia**, los **genes** correspondientes a los dos pigmentos sensitivos a las longitudes de onda más largas (**verdes** y **rojos**) se ubican en los **cromosomas X**. Como el sexo masculino posee solo un **cromosoma X**, al individuo que le toque una mutación en uno de esos **genes** tendrá una disminución en la capacidad para distinguir entre **verdes** y **rojos**. En cambio en el caso de las mujeres, que poseen dos **cromosomas X**, sólo serán daltónicas si sus dos **cromosomas X** tienen la deficiencia. Por ello el daltonismo afecta más a los hombres y menos a las mujeres.

A los afectados de daltonismo les es imposible o muy difícil desempeñarse en tareas donde la apreciación del color es fundamental, como p. ej. coloristas, diseñadores, tintoreros, pintores, conductores de vehículos, etc. En la vida práctica tienen dificultades para evaluar p.ej. el estado

de frescura de determinados alimentos, interpretar señales luminosas, etc. El procedimiento más empleado para el diagnóstico, aunque no el único, es el **test de Ishihara** (Figura 10.10) que consiste en 38 láminas en las que es preciso identificar un número que se encuentra insertado en la misma.

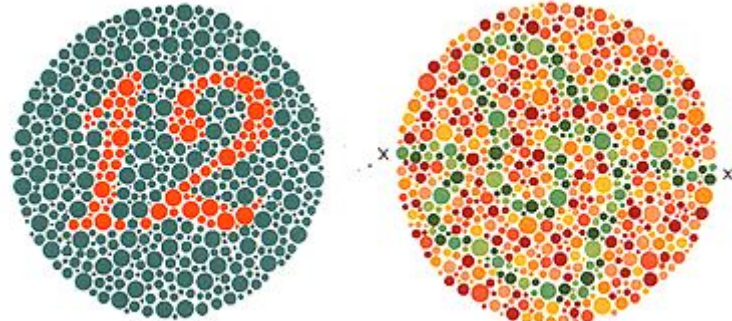


Figura 10.10 - TEST DE ISHIHARA.
Algunos daltónicos no pueden distinguir el número 12 ni la cuerda

1.6.0 – LA CURVA TIPO DE LUMINOSIDAD RELATIVA

Para los humanos no hay sensaciones de brillo ni de color a, aproximadamente, longitudes de onda menores a **360-400 m μ** o mayores a **700-780 m μ** . Pero además, se debe tener en cuenta que dentro de ese rango visible, cantidades iguales de **flujo radiante** de distintas longitudes de onda no producen sensaciones visuales de igual brillo: **el espectro aparece más brillante en la región central verde-amarillo y el brillo decrece hacia los extremos, azul y rojo, hasta hacerse cero**. Es decir, **el flujo luminoso es distinto al flujo radiante para cada longitud de onda, siendo máximo, el flujo luminoso, alrededor de las 555 m μ** . Esto se debe principalmente a la **mayor sensibilidad** combinada, para esas longitudes de onda de los **bastones** y los **conos con clorolabe** (ver en 1.3.0 los comentarios sobre la vinculación evolutiva entre el **clorolabe** y la **rodopsina**).

La Figura 10.11 muestra la "**curva tipo de luminosidad relativa**" o de "**eficacia luminosa del ojo humano**" que es el resultado de experimentos hechos con gran cantidad de observadores. En realidad, hay dos curvas de eficacia luminosa: una para la **visión diurna** o **visión fotópica**, en la que predominan los **conos**, y otra para la **visión nocturna** o **visión escotópica** en la que predominan los **bastones** y donde la **mayor sensibilidad** se desplaza del **verde-amarillo** al **azul-verde** (**efecto o corrimiento de Purkinje**). Cuando la luz disminuye, p.ej., al atardecer, se produce gradualmente el cambio de un tipo de visión a la otra. Los objetos empiezan a cambiar de color hasta que con muy poca luz (p.ej. a la luz de la luna) ya no se distinguen colores. Al amanecer se produce el efecto contrario. Son horas del día que generan sentimientos especiales y que los poetas consideran "mágicas" pero que pueden ser muy peligrosas, p.ej., para el que conduce un automóvil.

Por otra parte, a grandes niveles de iluminación, cercanos al **deslumbramiento**, los **rojos** y los **verdes** tienden al **amarillo** y, los **violetas** y **azules verdosos** hacia el **azul** (**efecto Bezold-Bruke**). En estos casos se tiene una **visión dicromática** basada prácticamente en dos colores: el **amarillo** y el **azul**. Por tanto, en la colorimetría visual y experimental debe cuidarse que la iluminación sea normal, es decir bastante por debajo del **deslumbramiento**.

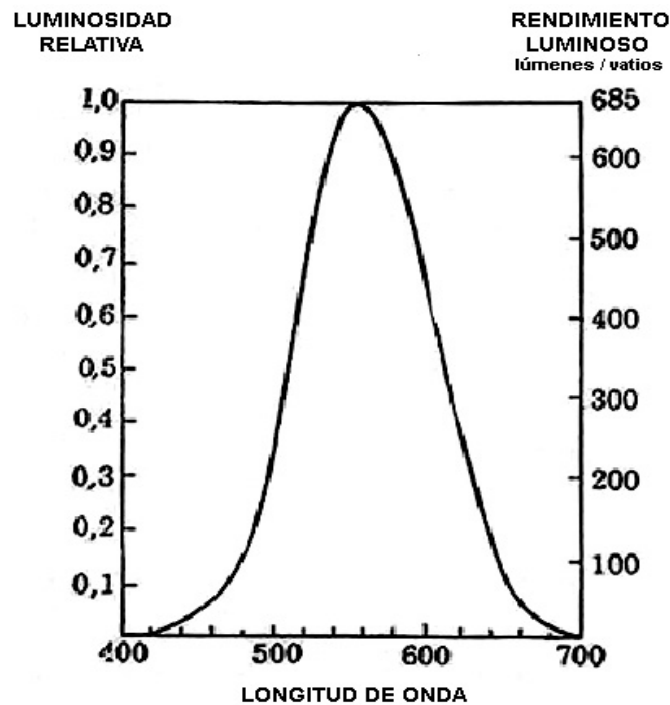


Figura 10.11

CURVA TIPO DE LUMINOSIDAD RELATIVA o de EFICACIA LUMINOSA DEL OJO HUMANO

Debemos distinguir entre **flujo radiante** y **flujo luminoso**. El **flujo radiante** es la cantidad de energía emitida por unidad de tiempo sin considerar si tal radiación es visible o no, y es medida en julios/segundo ó vatios. El **flujo luminoso**, en cambio, corresponde a la sensibilidad del ojo humano frente a un **flujo radiante** dado. Una placa fotográfica es impresionada en forma proporcional a la cantidad de energía que recibe, cualquiera sea su longitud de onda. En cambio, aun cuando la cantidad de energía sea la misma para cualquier longitud de onda, la respuesta perceptiva del cerebro **no es linealmente proporcional** al estímulo energético recibido por el ojo. Esa respuesta corresponde a la curva de sensibilidad que se muestra en la figura y que corresponde a la visión diurna o **fotópica**. Para la visión nocturna o **escotópica**, existe una curva de sensibilidad similar pero un poco desplazada hacia la izquierda (*desplazamiento de Purkinje*). A la longitud de onda de 555 nm tendríamos entonces, el máximo de sensibilidad **fotópica** y se establece que, a esa longitud de onda, un flujo radiante de **1 vatio** (1 julio/segundo) corresponde a un flujo luminoso de **685 lúmenes**. A longitudes de onda extremas, 400 nm y 700 nm la sensibilidad luminosa es prácticamente cero. La curva mostraría entonces el flujo luminoso correspondiente a un flujo radiante constante de **1 vatio**. En la figura la escala de luminosidad es relativa pues se ha tomado el valor 1 para el máximo de la curva (Ver Apéndice I).

Es interesante señalar la vinculación que existe entre los estudios de la Física y la Fisiología con los estudios realizados, hace aproximadamente 200 años, por **J. W. Goethe** sobre el color. El gran escritor y artista ya había comprendido que **la percepción de los diversos colores no resulta de estímulos energéticos equivalentes** sino que estas percepciones están subordinadas o condicionadas. Estableció así un **círculo cromático** con un polo próximo a la luz, el **amarillo**, y otro polo opuesto, el **azul**, que tendería hacia lo "tenebroso". El **amarillo** (representante del blanco) y el **azul** (representante del negro), fueron considerados por **Goethe** como los **únicos colores puros**, con una propiedad común a ambos: el **rojo**, que exalta el **amarillo** hacia el **naranja** y hacia el **púrpura**, pero hace más tenebroso al **azul**, transformándolo en **violeta**. De la fusión de ambos polos (**amarillo** y **azul**) resulta el **verde** que reuniría en sí, al igual que el **gris**, la luz y las tinieblas. Sin embargo, el **verde**, a diferencia del **gris**, sería una mezcla de luz y oscuridad representativa de lo vivo. El **púrpura** sería un color relacionado con los elevados aspectos intelectuales de creación y el **violeta** un color vinculado al pasado y a los misterios de la muerte. La teoría de **Goethe** suscitó la burla de los físicos y científicos de la época, debido al gran peso que tenían entonces las recientes investigaciones que **Newton** había realizado sobre la **naturaleza física** de la luz. Sin embargo, con el paso del tiempo, las ideas de **Goethe** demostraron ser muy acertadas, desde el punto de vista de la **psicología** y del **arte**.

1.7.0- COLORES PRIMARIOS DE ADICIÓN Y DE SUSTRACCIÓN

El espectro de colores reales podemos dividirlo - coincidiendo con las sensibilidades de los tres tipos de conos - en tres porciones: una en el rango del **rojo** (560 nm), otra en el rango del **verde** (530 nm) y otra en el rango del **azul** (425 nm). Si sobre una pantalla blanca **proyectamos** luces de estos tres colores, de similar cantidad de energía, obtenemos luz **blanca**. Distintas proporciones de estas tres luces de colores nos permitirán obtener una gran cantidad de otros colores (*más que con cualquier otros tres colores del espectro*). A estos tres colores, **rojo, verde y azul** se les llama entonces "**primarios de adición**" (*primarios RGB, red, green, blue*) y se utilizan para obtener diferentes colores en iluminación y escenografía, en las pantallas de cine y TV, en el monitor de la computadora, es decir, siempre que se **proyecte** luz.



Figura 10.12

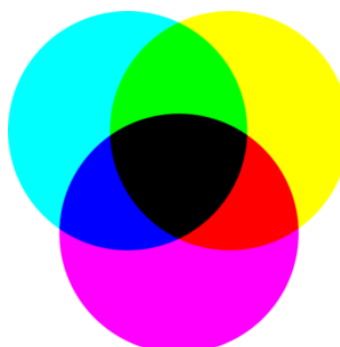


Figura 10.13

En la *Figura 10.12* vemos que si iluminamos con el primario de adición **rojo** sobre el primario de adición **azul** obtenemos **magenta**. Si iluminamos con el **rojo** sobre el **verde** obtenemos **amarillo** y si iluminamos con el **azul** sobre el **verde** obtenemos **cian**. Vemos también que si iluminamos con el primario de adición **rojo a través** de un cristal **azul** obtendremos **magenta**. Si hacemos lo mismo con el **rojo a través** de un cristal **verde** obtenemos **amarillo** y, finalmente si iluminamos con **azul a través** de un cristal **verde**, obtendremos **cian**. A estos colores **magenta, amarillo y cian** (*Figura 10.13*) complementarios u opuestos respectivamente al **verde, azul y rojo** en el **diagrama cromático** (ver *Sección.2.3.0*), se les llama "colores secundarios" o "**primarios de sustracción**".

La mezcla, en proporciones adecuadas, de tres **colorantes** o **pigmentos** que coincidan con los colores **primarios de sustracción, magenta, amarillo y cian**, produce **negro** (ver *Figura 10.13*). Cuando la luz reflejada por cada tipo de colorante o pigmento **pasa a través** de cada uno de los otros dos, va siendo sucesivamente "**sustraída**" hasta que no vemos luz, es decir hasta que vemos **negro**. Si bien usando cantidades variables de los **primarios de sustracción, magenta, amarillo y cian**, se pueden obtener una gran cantidad de colores, en la práctica se les agrega el **negro** con lo que tenemos cuatro primarios aumentando así la cantidad de tonos que es posible obtener. Estos **primarios CMYK** (*cyan, magenta, yellow, black*) se usan mucho en la tinción textil, en la industria gráfica (ver *Figura 10.14*), en pintura, en fotografía, en cerámica, etc. Es decir estos son los primarios de elección cuando se mezclan colorantes y pigmentos y se observa la **luz reflejada** por ellos.

UNA EXPERIENCIA INTERESANTE

Cuando miramos **fijamente** una mancha de un determinado color durante un periodo de tiempo (*treinta segundos como mínimo*), y luego trasladamos nuestra mirada a **una superficie blanca**, veremos un "fantasma" de la mancha, pero de color complementario. Si, p.ej., la mancha original era roja, veremos el "fantasma" de color azul verdoso o "cyan". Esto es debido a que la fatiga de los conos sensibles al rojo hace que estos envíen señales relativamente más débiles y predominen las señales de los otros dos.



Figura 10.14

Ejemplo del uso de la tetracromía CMYK en la industria gráfica

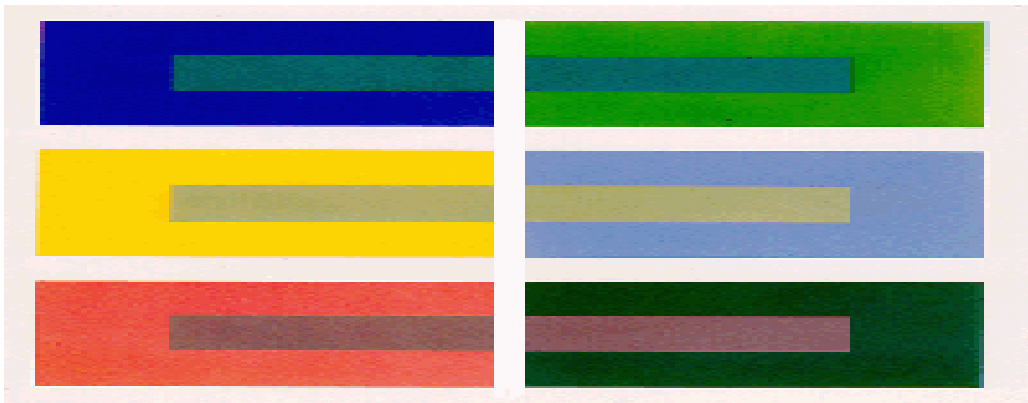


Figura 10.15

Para un pintor la apariencia de un color se revela solamente cuando lo transporta de la paleta al cuadro que está pintando. Debido a la influencia de los colores limítrofes el pintor puede necesitar diferentes colores si desea una apariencia de color igual entre diferentes colores circundantes. Por otra parte, puede usar el mismo color para producir apariencias diferentes entre diferentes colores limítrofes.

CAMBIOS EN LA APARIENCIA DEL COLOR POR
LA PROXIMIDAD DE VARIOS COLORES ENTRE SI
Obras del artista venezolano Carlos Cruz Diez

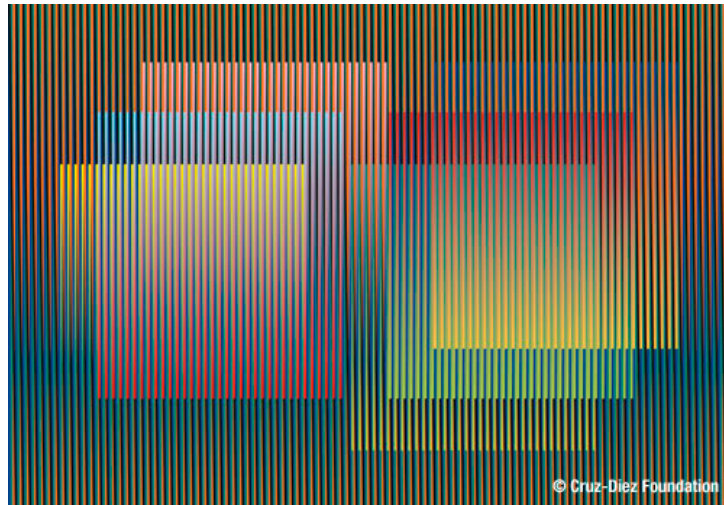


Figura 10.16

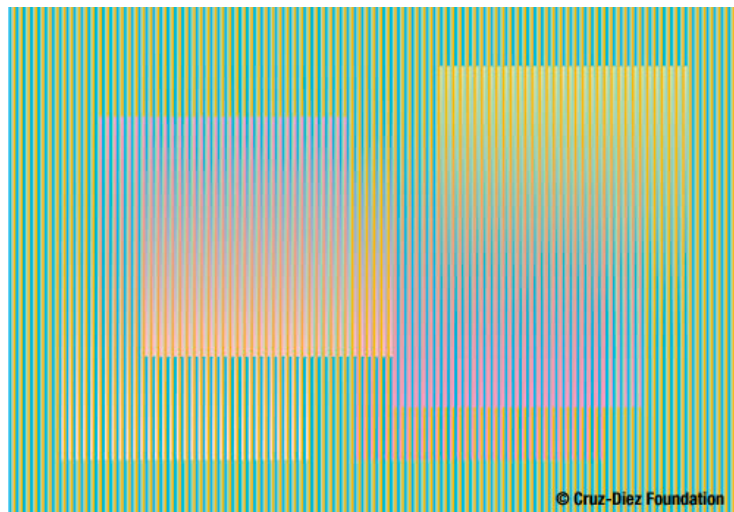


Figura 10.17

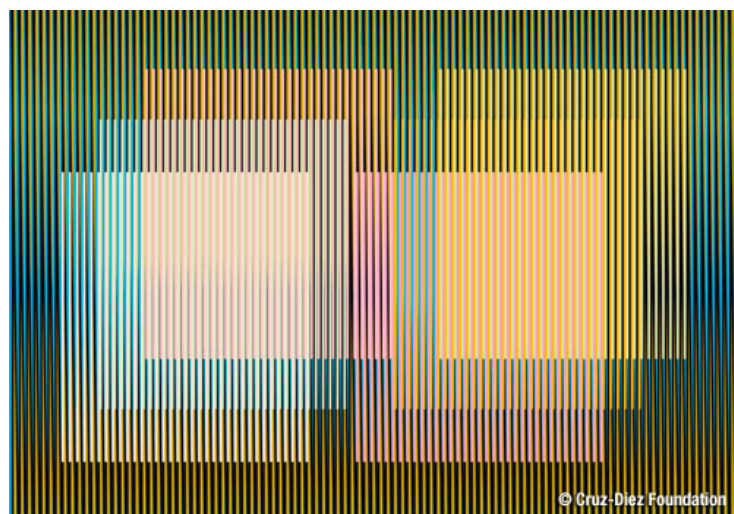


Figura 10.18

2.0.0- LA MEDICIÓN DEL COLOR

En la naturaleza existen infinidad de colores a los que se suman los que resultan de la creación artística. En cada cultura e idioma se identifican los colores con nombres imprecisos pues, si bien el ojo humano es muy discriminatorio, solo podemos dar información **subjetiva** y no **objetiva ni precisa** sobre un color y su **diferencia** con otro. Sin embargo, para la **industria** y el **comercio** es de gran importancia **identificar y reproducir colores así como medir diferencias entre ellos**, y por tanto se ha hecho un gran esfuerzo para desarrollar métodos **objetivos de medición del color**.

Vimos que la percepción de color es el resultado de: **1)** La distribución energética espectral de la luz recibida por el ojo que estimula a tres tipos de conos de la retina. Esos tres diferentes estímulos son transmitidos al cerebro que los procesa y genera la sensación de color llamada **matiz** (o "**hue**" en inglés); **2)** La relación de la cantidad de energía correspondiente a las longitudes de onda dominantes, con respecto a toda la distribución espectral. Esto nos dará la " **saturación**" o "pureza" o "limpieza" (o "**chroma**" en inglés) de ese **matiz** y; **3)** La cantidad total de energía radiante recibida por el ojo que nos dará la sensación de **luminosidad** o como a veces se le llama, el **valor** del matiz considerado.

La "**distribución energética espectral**" de la luz que incide en el ojo contendrá entonces, en sí misma, toda la información necesaria para identificar el color del objeto que emitió o remitió esa luz. Esta **distribución espectral** se puede determinar fácilmente con **espectrofotómetros** pero, sin embargo, **no es fácil cuantificar y comparar colores utilizando solamente sus respectivas curvas espectrales** o sus **curvas de reflectancia %**. Para fines prácticos resulta más conveniente tratar de asignar un valor a cada uno de los **tres estímulos** recibidos por el ojo (y que luego son procesados por el cerebro). A esos valores, correspondientes a cada uno de los tres estímulos, se les llama "**valores triestímulos**." Veamos:

1) Si la **distribución energética del iluminante** es una función $E(\lambda)$ (donde λ es la variable correspondiente a la longitud de onda), **2)** si la **distribución energética de la luz reflejada por el objeto** es una función $R(\lambda)$ y, **3)** si las tres **sensibilidades espectrales** del ojo humano las representamos por las funciones: $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, entonces **los estímulos recibidos por el cerebro** estarían representados por **tres valores estímulos**, que llamaremos X, Y, Z , que podrían ser calculados matemáticamente por las siguientes integrales:

$$X = \int_{400}^{700} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot x(\lambda) \cdot d\lambda \quad (I)$$

$$Y = \int_{400}^{700} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot y(\lambda) \cdot d\lambda \quad (II)$$

$$Z = \int_{400}^{700} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot d\lambda \quad (III)$$

Para calcular X, Y, Z es necesario entonces conocer $E(\lambda), R(\lambda), x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$. Esto es posible: **1)** si utilizamos **iluminantes patrones** (como p.ej. los establecidos por la **CIE**) de los que se conocen sus distribuciones energéticas o espectros de emisión característicos, en forma gráfica o en tablas, **2)** si medimos experimentalmente, con un espectrofotómetro de reflexión, la distribución energética de la luz reflejada por el objeto, $R(\lambda)$ y, finalmente **3)** si establecemos las funciones de **sensibilidad espectral** de cada uno de los tres centros de excitación cerebral, es decir las funciones $x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$.

Las **sensibilidades espectrales** han sido establecidas internacionalmente por la **CIE** promediando las observaciones realizadas, bajo condiciones estándar, para una gran cantidad de personas de visión normal media. Estas **sensibilidades espectrales** se representan por **curvas de distribución energética**. Estas experiencias se realizaron por primera vez en 1931, para un ángulo de observación de 2° , y luego en 1964 para un ángulo de observación de 10° (aproximadamente los ángulos visuales para ver una moneda y una tarjeta postal, respectivamente, a una distancia de lectura).

2.1.0- LAS CURVAS DE SENSIBILIDAD ESPECTRAL DEL OJO HUMANO

Supongamos que tenemos **una pantalla blanca dividida en dos campos de observación**. Sobre uno de los dos campos - p.ej. el campo inferior de la Figura 10.19 - se proyecta luz correspondiente a cada una de las **longitudes de onda del espectro**. Por razones prácticas es suficiente proyectar los colores correspondientes a cada una de las longitudes de onda que van de **400 a 700 nm**, es decir **300 colores** (o menos, p.ej. en intervalos de 5 ó 10 nm). Las luces proyectadas se ajustan para que sean todas de igual energía (de manera que el espectro de donde provienen será **equi-energético**).

Supongamos ahora que un **observador promedio** (o de visión normal media) **observa**, uno a uno y sucesivamente, bajo determinados ángulos de observación (p.ej. 2° y 10°), cada uno de esos **300 estímulos** coloreados proyectados en el campo inferior y los compara, uno a uno y sucesivamente, con los **estímulos** visuales o colores que se proyecten - en el campo superior de la pantalla de la Figura 10.19 - por combinación de cantidades variables de luz proveniente de **tres fuentes luminosas, elegidas como primarios de adición, con longitudes de onda de 700 m μ (rojo R), 546 m μ (verde G) y 436 m μ (azul B)** respectivamente.

Las intensidades de la luz emitida por cada una de las tres fuentes primarias **se ajustan**, cada una, con un **reóstato**. Entonces a cada uno de los **300 colores** del espectro, proyectados en la pantalla inferior, **le corresponderá tres valores de lectura de las tres luces** provenientes de las fuentes primarias (**rojo, verde y azul**) y proyectados en la pantalla superior. Luego con los valores - obtenidos de la lectura de cada uno de los tres reóstatos - se pueden trazar, longitud de onda por longitud de onda, **tres curvas equi-energéticas \bar{r} , \bar{g} , \bar{b}** , curvas que entonces corresponderán a las **sensibilidades espectrales de un observador promedio**. (Figura 10.20).

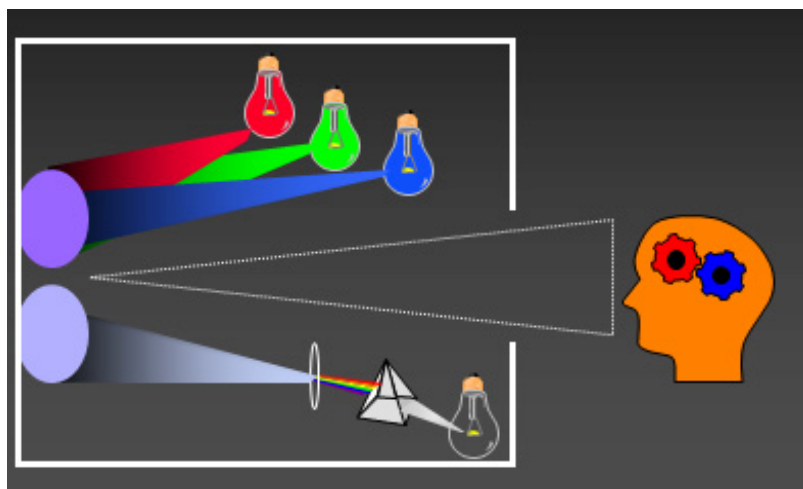


Figura 10.19

EXPERIENCIA REALIZADA POR LA CIE PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE SENSIBILIDAD ESPECTRAL DE UN OBSERVADOR STANDARD

Figura tomada de una presentación de la empresa DATACOLOR

Cuanto mayor sea la diferencia entre las longitudes de onda de los primarios elegidos, mayor será la cantidad de colores que se podrán obtener por mezcla entre ellos. Sin embargo, aun así **no se pueden igualar todos los colores con cantidades positivas de solo tres primarios.** En algunos casos se deberá agregar uno de los primarios al color problema e igualar el nuevo color resultante con los otros dos primarios restantes. Cuando es necesario hacer esto, se considera que se empleó una cantidad negativa del primario agregado al color problema. Es entonces por eso que una parte del trazado de las curvas *equi-energéticas* \bar{r} , \bar{g} y \bar{b} está por debajo del eje de las abscisas (*en la Figura 10.20 se ha hecho apreciable solo para \bar{r} , por ser el caso más pronunciado e importante*).

Si multiplicamos ahora (*ver Figura 10.21*) longitud de onda por longitud de onda, la curva de distribución energética del iluminante por la curva de reflectancia % del objeto, se obtiene una nueva curva que corresponderá al **estímulo visual** que recibirá el ojo cuando observe al objeto. Si ahora multiplicamos, también longitud de onda por longitud de onda, esa curva de **estímulo visual** por cada una de las tres curvas equi-energéticas \bar{r} , \bar{g} , \bar{b} de las **sensibilidades espectrales de un observador promedio** - obtenidas como se explicó más arriba - se obtendrán **otras tres nuevas curvas**. Las **áreas por debajo** de cada una de estas nuevas curvas - o sea las integrales de las funciones - se podrán considerar como **los valores representativos de cada uno de los tres estímulos cerebrales**, es decir los **tri-estímulos (R,G,B)**, que el cerebro comparará e interpretará para darnos la **percepción del color** (*Figura 10.21*)

Como en los años, previos al desarrollo y difusión de la informática, manejar valores negativos para $\bar{R}, \bar{G}, \bar{B}$ resultaba incómodo, se trató de resolver ese inconveniente no considerando fuentes luminosas reales con **colores primarios reales**, sino estableciendo **colores primarios imaginarios**, de tal forma que la combinación de solo valores positivos permitiera siempre igualar todos los colores posibles (*ver Figuras 10.30 y 10.31*). Estos **primarios imaginarios** fueron establecidos por la **CIE** en 1931 y con ellos se obtienen otras curvas distintas a las $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$: **las curvas $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$** , que son las curvas de **sensibilidad espectral de un observador promedio**, las tres curvas todas ahora por encima del eje de las abscisas (*Figura 10.22*)

Para simplificar los cálculos la función \bar{y} se eligió como equivalente a la **función de eficacia luminosa** o **curva tipo de luminosidad relativa** o de **sensibilidad lumínica del ojo humano** (*ver Sección 1.3.0*). También para simplificar, la función \bar{z} fue seleccionada para que valiera cero para la segunda mitad del espectro visible (*de aprox. 500 nm en adelante*). Además las funciones se ajustaron considerando fuentes luminosas de igual energía para todas las longitudes de onda del espectro y **para que el área total por debajo de cada una de las curvas $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$, fuera igual para las tres curvas**.

Si ahora, en forma similar a lo que se hizo más arriba, **se multiplican**, longitud de onda por longitud de onda, la distribución energética del iluminante por la distribución energética de **la luz reflejada por el objeto** y por las **sensibilidades espectrales** $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$, y luego, se **integran cada una de las tres curvas que resulten de esa multiplicación**, se obtendrán **los valores tri-estímulos X, Y, Z** (*en lugar de los valores tri-estímulo $\bar{R}, \bar{G}, \bar{B}$*), **que corresponderán también unívocamente el color del objeto** (*Figura 10.23*). Estos valores **X, Y, Z** corresponden a las áreas por debajo de cada una de las tres curvas obtenidas en cada caso, de acuerdo a la expresión de las integrales (I), (II), (III) que se muestran en la página 18.

CANTIDADES RELATIVAS DE ENERGÍA

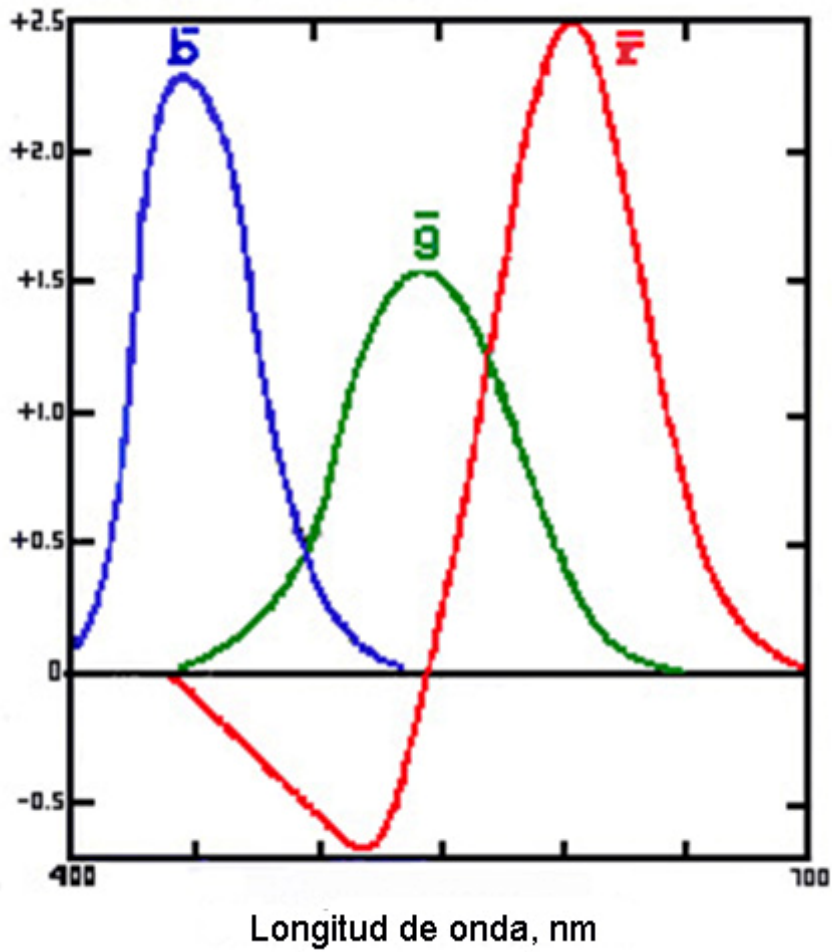


Figura 10.20- CURVAS DE SENSIBILIDAD DE UN OBSERVADOR PROMEDIO

CANTIDADES RELATIVAS DE ENERGÍA

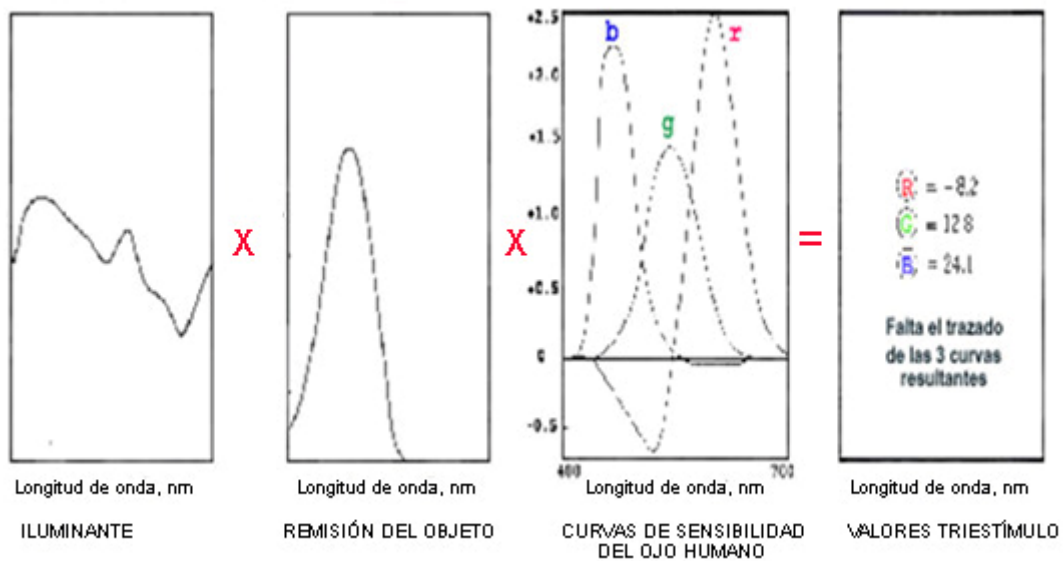


Figura 10.21- CALCULO DE LOS VALORES TRI-ESTÍMULOS R,G,B

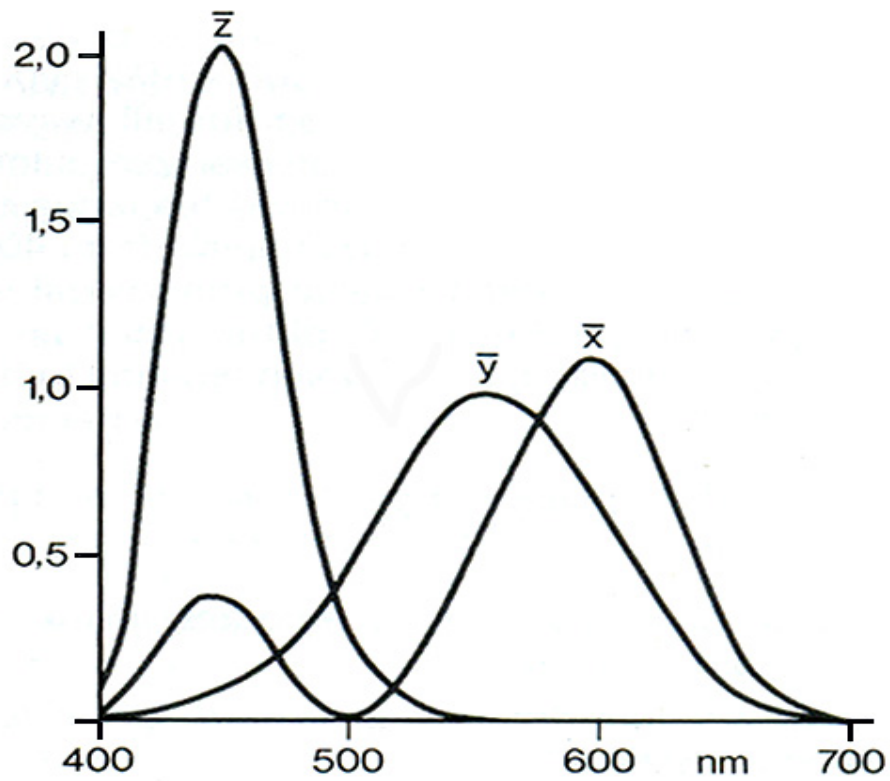


Figura 10.22 - CURVAS DE LAS SENSIBILIDADES DE UN OBSERVADOR PROMEDIO, CORREGIDAS

CANTIDADES RELATIVAS DE ENERGÍA

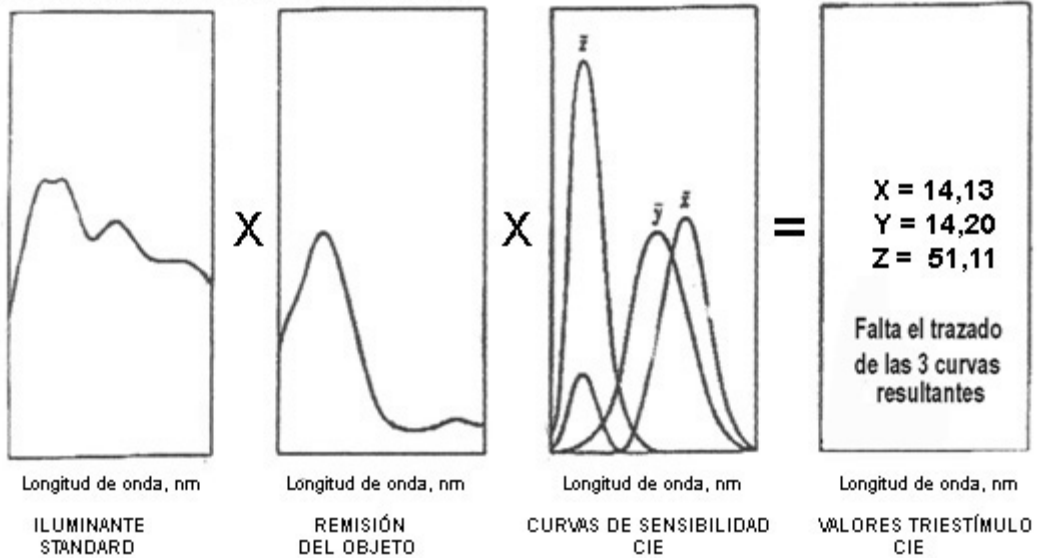


Figura 10.23 - CALCULO DE LOS VALORES TRI-ESTÍMULOS X, Y, Z

Los modernos **equipos de medición de color** realizan las mediciones y los cálculos necesarios para determinar los valores **X, Y, Z**. En general constan de un **espectrofotómetro de reflexión** y de una **computadora** (ver Sección 2.9.0). El **espectrofotómetro** registra - p.ej. cada 10 mμ - la energía luminosa reflejada por la muestra coloreada y va construyendo su **curva de reflectancia %**. La muestra es iluminada por uno de los **iluminantes patrones** establecidos por la **CIE**. Los datos de la **curva de reflectancia %** son transferidos a la **computadora** donde por medio de un **programa** son multiplicados - *longitud de onda por longitud de onda* - por los valores previamente almacenados de la distribución energética del **iluminante patrón** y de las tres **curvas de sensibilidades cromáticas** \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} . Luego el programa del equipo calcula **X, Y, Z** (ver el ejemplo de la Tabla 10.1, pág. 42).

2.2.0 – LA METAMERÍA

Dos partidas de tela - teñidas con diferentes mezclas de colorantes o recetas **distintas** - podrán resultar ambas con el mismo color final y tener por tanto iguales valores finales **X,Y,Z** cuando se las observa bajo un dado **iluminante**. Pero **al cambiar el iluminante**, los valores **X, Y, Z** para cada tela cambiarán, como es de esperar, y estas se verán de diferente color con respecto a sí mismas pero, **además, se verán distintas entre sí**. Este fenómeno se conoce como **metamería** y debe ser tenido muy en cuenta en la práctica industrial al cambiar una receta de tintura. Un tintorero habilidoso puede lograr el mismo color con una nueva receta, distinta a la que usaba antes, trabajando bajo **un determinado iluminante** (p.ej. la iluminación del local de la tintorería). Pero cuando una muestra de la partida teñida con la **vieja** receta se observe junto a una muestra teñida con la nueva receta, **bajo otro iluminante**, es seguro que las dos se verán distintas entre sí. Esto generará grandes inconvenientes y reclamos si el confeccionista inadvertidamente hace prendas mezclando partidas de tela nuevas y viejas. Se debe evitar entonces, en lo posible, los cambios de recetas para distintas partidas correspondientes a un mismo pedido o para un mismo uso final.

2.3.0- COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN DEL ILUMINANTE

El producto - *longitud de onda por longitud de onda* - de los valores correspondientes a las ordenadas de las **curvas de distribución energética** de cada **iluminante estándar** por cada uno de los valores de las ordenadas de las tres **curvas de sensibilidad** \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} del **observador estándar** da como resultado los llamados **"coeficientes de distribución"** de cada **iluminante patrón o estándar**. Estos coeficientes - que pueden ser obtenidos de publicaciones de la **CIE** - son almacenados por el fabricante del equipo en el programa del ordenador y son utilizados en el cálculo de los valores **X, Y, Z** cada vez que se mide, con el espectrofotómetro, una muestra coloreada. Estos valores se ajustan para que:

$$Y = \int_{400}^{700} E(\lambda) \cdot y(\lambda) \cdot d\lambda = 100$$

El programa del ordenador puede transformar los valores **X,Y,Z** en valores correspondientes a **otros sistemas** (como el **CIELAB** que se describe en la Sección 2.5.0), puede también calcular **diferencias de color** entre muestras, sugerir **formulas de tintura**, etc.

2.4.0- DIAGRAMAS DE CROMATICIDAD Y ESPACIO CROMÁTICO

Como a todo color le corresponden **tres valores triestímulos X,Y,Z**, cada color puede representarse por un punto en un **espacio tridimensional** determinado por esos **tres** valores. Sin embargo por motivos prácticos, más que ubicarlo en el **espacio tridimensional**, ese color

conviene ubicarlo en un **plano**. Con ese fin se definen las siguientes coordenadas o **índices cromáticos**:

$$x = X / (X + Y + Z) ; y = Y / (X + Y + Z) ; z = Z / (X + Y + Z), \text{ por tanto, } x + y + z = 1$$

La ventaja de utilizar estos **índices cromáticos** es que **con solo dos de ellos** (p.ej. x, y) podemos determinar la **cromaticidad** de cualquier color – es decir solo **su matiz** y **su saturación** - representándola por un punto en un **diagrama de cromaticidad**, que estaría ubicado en un **plano**.

Como tercera coordenada independiente tendríamos los % de **Y**, es decir del **valor triestímulo** que corresponderá a la **luminosidad** pues, como ya se mencionó, la **CIE** hizo coincidir la curva \bar{y} con la **curva tipo de luminosidad relativa** o de **sensibilidad lumínica** del ojo humano (ver 1.6.0). El **diagrama de cromaticidad** – que tiene forma de **"lengua de gato"** o de **"herradura de caballo"** – se ubicaría entonces en un **"plano energético unidad"** o de **"luminosidad unidad"** de tal manera que, por encima de ese plano, **Y%** tiene valores positivos y por debajo negativos (ver Figura 10.26).

Para cada valor de **Y%** corresponderán otros planos, paralelos al plano unidad, con diagramas cromáticos cada vez más pequeños que el del plano unidad, a medida que nos acercamos a un **Y%** igual a 100 (ver Figura 10.29). Cada color estará, entonces, unívocamente y completamente representado por un **punto** ubicado en un **"espacio cromático"** determinado por el diagrama cromático y el valor **Y%** que le corresponda (ver Figuras 10.26 y 10.29).

Todos los colores **reales** se encontrarán **dentro** de las **"lenguas de gato"**. En la parte curva del borde de los diagramas estarán ubicados todos los **colores espectrales** y en la parte recta los **"no espectrales"** (como los **lilas, bordeaux, magentas, etc.**) obtenidos por mezcla de **azul** y **rojo**. Aproximadamente en el centro del diagrama se ubica un **"punto acromático"** o **"equi-energético"** cuya cromaticidad depende del **iluminante** y de **Y%**. Partiendo de este **punto acromático**, que formará parte de un **"eje de grises"**, la **"saturación"** o **"pureza"** aumenta hacia el borde hasta llegar a un máximo para los colores que se ubican justo en el borde (ver Figuras de 10.24 a 10.29).

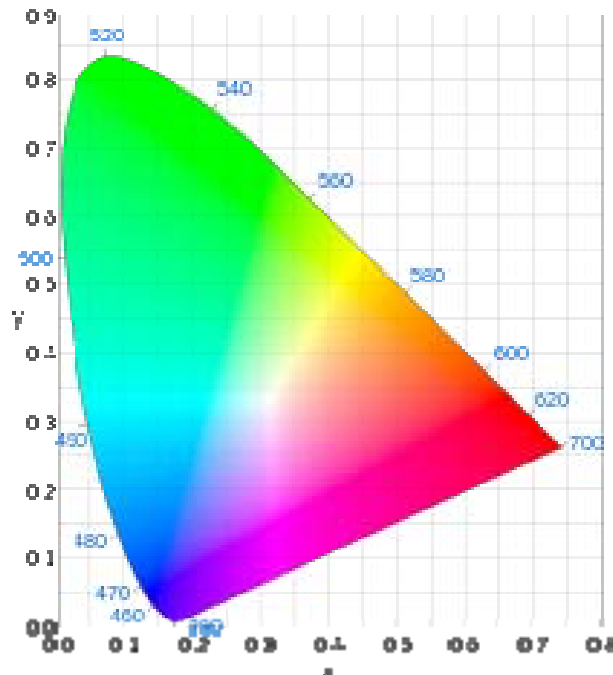


Figura 10.24 – **DIAGRAMA CROMÁTICO**

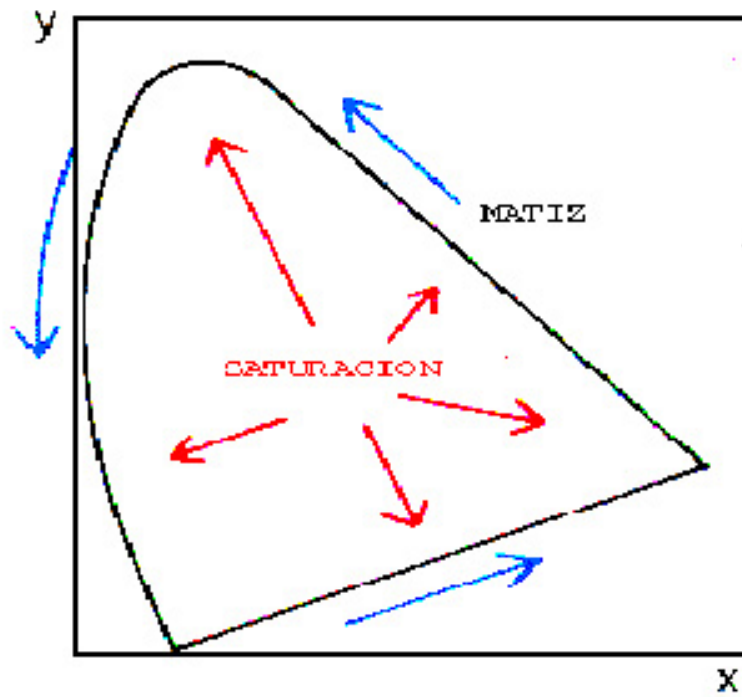


Figura 10.25 – DIAGRAMA CROMÁTICO: MATIZ Y SATURACIÓN

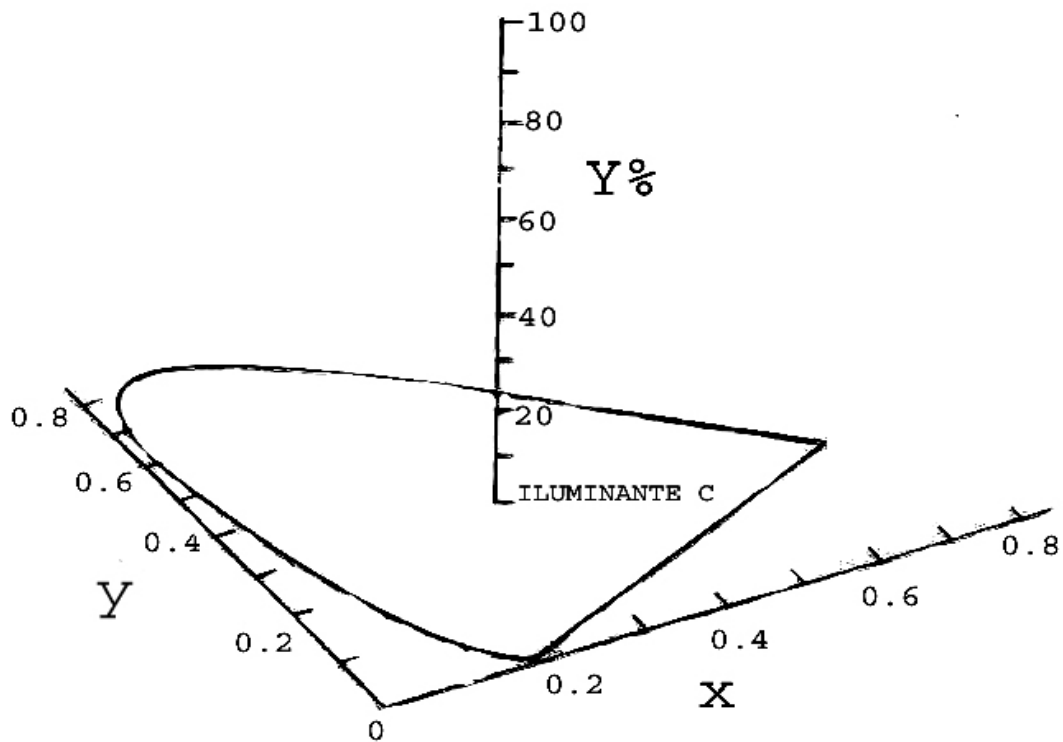


Figura 10.26 – DIAGRAMA CROMÁTICO Y LUMINOSIDAD

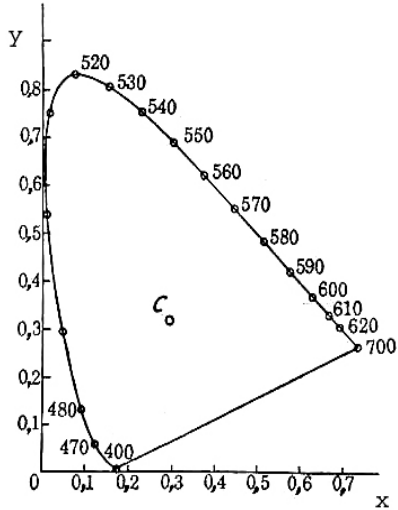


Figura 10.27

Lugar del iluminante C en el diagrama cromático

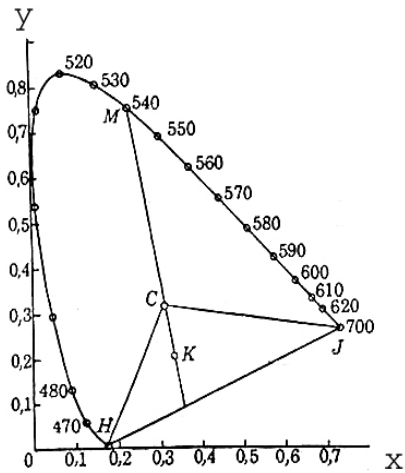


Figura 10.28

El color de K es un púrpura complementario del color M

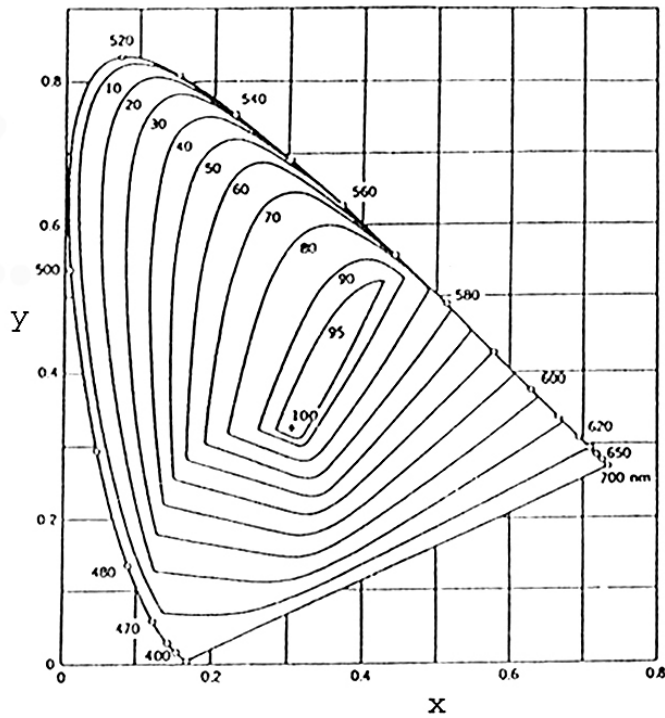


Figura 10.29

Los diferentes niveles de cromaticidad, se superponen en el espacio según su luminosidad, paralelamente al plano unidad y perpendicularmente hacia el lector. Son cada vez más chicos y cuando se llega al 100% de luminosidad tenemos solo un punto que correspondería a un color blanco de máxima luminosidad. A muy altas luminosidades, cercanas a Y 100%, es decir cercanas al deslumbramiento, los colores se van atenuando y vemos solo blancos matizados. (ver efecto Bezold-Bruke, Sección 1.6.0)

Conviene recordar e insistir en que si se usan solo los **tres colores primarios reales rojo, verde y azul**, se obtiene un diagrama de cromaticidad con forma de triángulo (**triángulo de Maxwell**) cuyos vértices son **R,G,B**. Muchos de los colores reales quedarían entonces fuera de esa área triangular pues alguno de los primarios tendría valor negativos (*especialmente el rojo*) (Figura 10.30). Cuando tenemos en cuenta esos colores, a los que les corresponden valores

negativos de uno de los primarios, es cuando obtenemos un espacio cromático con forma de **lengua de gato**.

Si ahora en cambio usamos **tres colores primarios imaginarios**, se puede crear un espacio cromático más grande, también con forma de triángulo, pero cuyos vértices serían **X, Y, Z** en lugar de **R, G, B**. Dentro de ese diagrama cromático estarían todos los colores **reales** - comprendidos dentro del diagrama cromático con forma de "lengua de gato" - más aquellos colores **imaginarios** que quedarían por fuera del diagrama con forma de "lengua de gato" pero por dentro del triángulo **X, Y, Z**. Todos estos colores se pueden definir con valores positivos de **X, Y, Z**, lo que constituye una gran ventaja y comodidad (*Figura 10.31*).

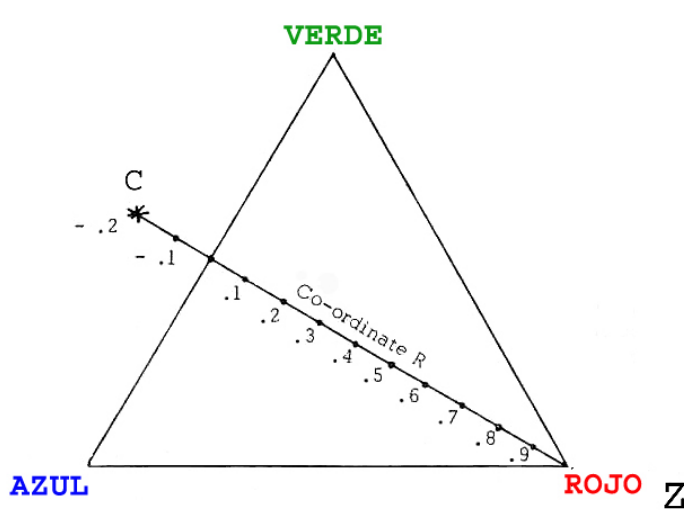


Figura 10.30
PRIMARIOS REALES, R,G,B

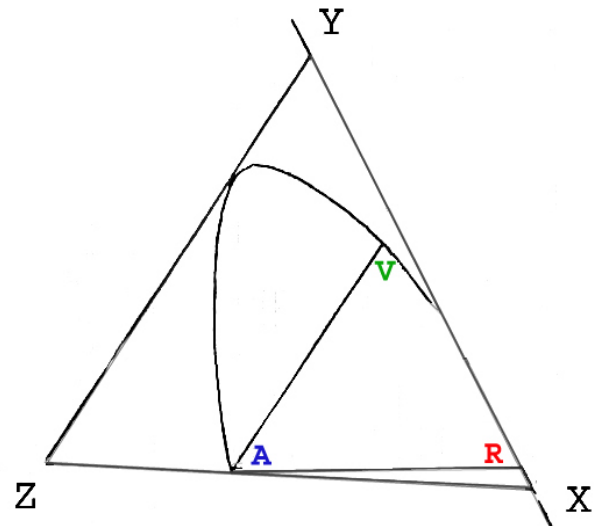


Figura 10.31
PRIMARIOS IMAGINARIOS, X,Y,Z

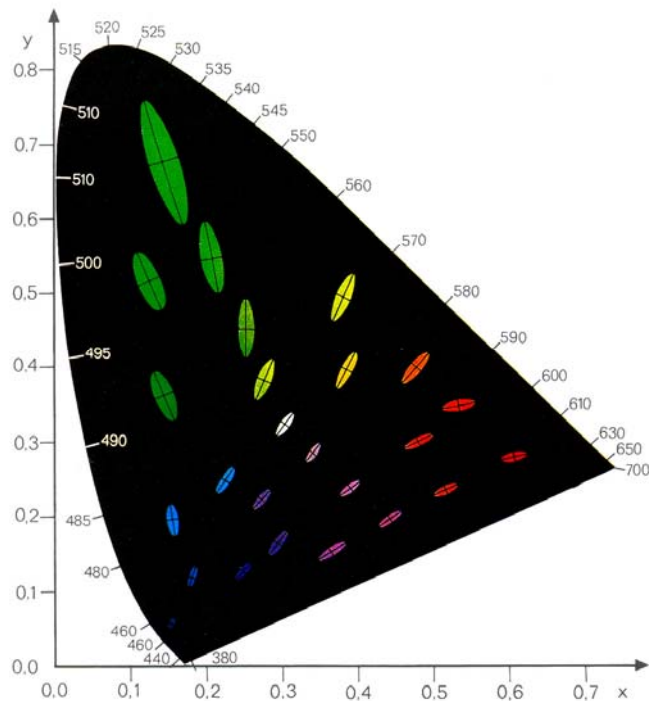


Figura 10.32 – **DIAGRAMA CROMÁTICO CON ELIPSES DE MC ADAMAS**

2.5.0- SISTEMA "CIELAB 76"

Si bien el **diagrama de cromaticidad** en forma de "lengua de gato" nos permite identificar y ubicar colores, tiene un gran inconveniente: la magnitud de las **diferencias** de color, **medidas gráficamente** en diversos lugares del diagrama, no se corresponden con la **percepción** que el ojo humano tiene de esas **diferencias**. En 1942 *D.L. Mc Adams* estudió 25 zonas de **igual umbral de apreciación de diferencias de color para el ojo humano**. Esas zonas, de forma **elíptica**, son de distinto tamaño según el lugar en que se ubiquen dentro del diagrama cromático (*Fig. 10.32*). Es decir que, el ojo humano, para cada color, posee **diferente sensibilidad** para apreciar **diferencias de tono**. Las elipses más grandes en las zonas del **verde** y del **amarillo** nos dicen que el ojo tiene una **menor sensibilidad** o una **mayor tolerancia** para las diferencias de **tono** en esas regiones (*ver Sección 1.6.0 "curva de sensibilidad del ojo humano"*). Por el contrario, las elipses más pequeñas en las zonas del **rojo** y del **azul** nos dicen que el ojo es **más sensible** o **menos tolerante** para las diferencias de **tono** en esas dos regiones. Además de esto, debemos agregar que en cualquier lugar del diagrama cromático, se aprecian mejor las **diferencias de tono** que las **diferencias de saturación**.

Entonces, para la medición objetiva de diferencias de color se ha tratado de establecer espacios de color **visualmente equidistantes**. Es decir que, **pares de colores** que se perciban **visualmente** como "igualmente diferentes" se puedan representar **gráficamente** como "igualmente separados". Esto se ha logrado relacionando gran cantidad de observaciones y utilizando **ecuaciones de transformación**. Uno de esos espacios fue establecido por la **CIE** en 1976. A pesar de que no era totalmente satisfactorio, resultó de gran practicidad ya que permitió avanzar en las técnicas y en el desarrollo de programas informáticos para la medición de **diferencias de color**. El sistema utiliza tres coordenadas L^*, a^*, b^* y se le conoce por **CIELAB 76** (*Figura 10.33*).

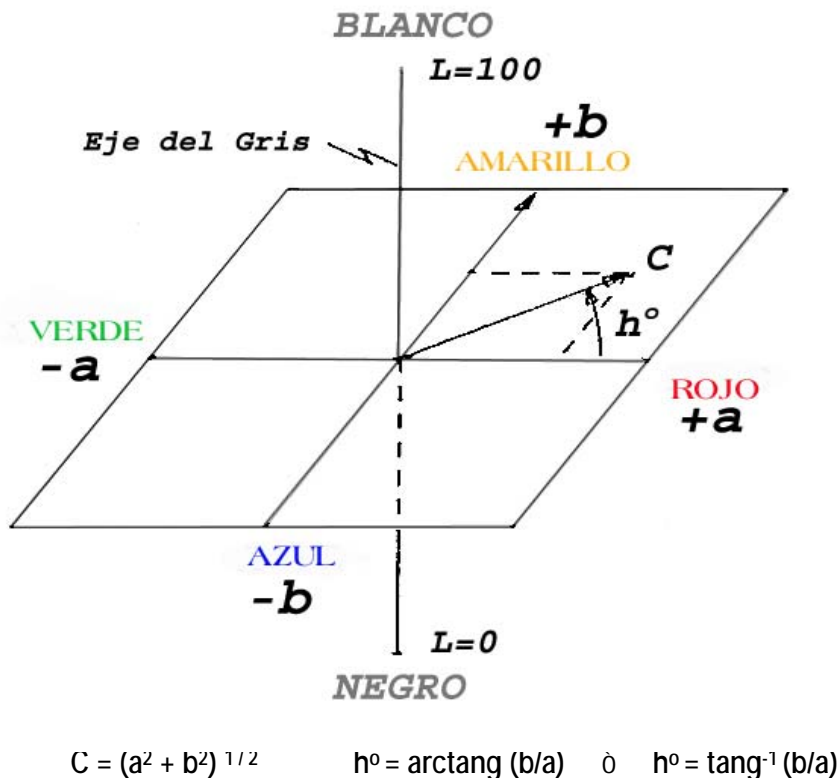


Figura 10.33

Las coordenadas se designan así: L^* para el eje **blanco-negro**, a^* para el **rojo-verde** y b^* para el **amarillo-azul**. Para cada iluminante (p.ej. el CIE D65) y para cada ángulo de observación (p.ej. 10°) corresponde un espacio L^*, a^*, b^* . Cuanto más positivo el valor de a^* más rojo será el color y cuanto más negativo más verde. De la misma manera cuanto más positivo b^* más **amarillo** será el color y, cuanto más negativo más **azul**. El superíndice * es para diferenciar las expresiones del **CIELAB 76** de otro sistema similar que se había desarrollado previamente (el sistema Hunter Lab).

También en el mismo plano (Figura 10.33), como medida de la diferencia de “matiz” entre dos colores puede utilizarse el ángulo h° (expresado en grados, de 0° a 360° , con cero en el eje $+a$ y 90° en el eje $+b$). Como medida de “saturación” o “pureza”, puede utilizarse la diferencia de distancias C^* al centro del plano, es decir al eje de grises ($C^* = 0$), de cada uno de los colores que se comparan. Con las **coordenadas cartesianas** a^* y b^* se pueden calcular las **coordenadas polares** C^* y h° de la siguiente manera:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} ; h^\circ = \arctang(b^*/a^*) \text{ ó } h^\circ = \text{tang}^{-1}(b^*/a^*)$$

Cuando la diferencia Δh° se transforma en diferencia de longitud, para que sea homogénea con los valores de L^* y C^* , a ese nuevo valor se le denomina diferencia ΔH^* . Al espacio de color definido por L^*, C^* y ΔH^* se le llama “Sistema CIELCH”².

ECUACIONES DE TRANSFORMACIÓN UTILIZADAS PARA CREAR EL ESPACIO DE COLOR UNIFORME CIELAB 76

Luminosidad

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

($L^* = 0$ para el negro y $L^* = 100$ para el blanco)

válido para Y/Y_n igual o mayor a 0,01; Y_n = valor triestímulo del blanco

EJE ROJO – VERDE

$$a^* = 500[(X/X_n) - (Y/Y_n)]^{1/3}$$

válido para X/X_n e Y/Y_n igual o mayor a 0,01

EJE AMARILLO – AZUL

$$b^* = 200 [(Y/Y_n) - (Z/Z_n)]^{1/3}$$

válido para Z/Z_n e Y/Y_n igual o mayor a 0,01

X, Y, Z son los valores triestímulos expresados en %

X_n, Y_n, Z_n son los valores triestímulo del iluminante estándar, siendo Y_n siempre igual a 100 (Por ejemplo, para el iluminante C los valores triestímulo son: $X_n = 98,041$, $Y_n = 100,000$, $Z_n = 118,103$)

² También en 1976, la CIE creó un diagrama de cromaticidad diferente y más uniforme, cuyas coordenadas denominó u^*, v^* en lugar de las x, y correspondientes al primer diagrama en forma de “lengua de gato”. Partiendo de este nuevo diagrama se creó a su vez, un espacio de color visualmente equidistante que utiliza las coordenadas L^*, u^*, v^* (en lugar de las L^*, a^*, b^*) y que se le conoce como “Sistema CIELUV”. Le mencionamos por su valor histórico ya que representó solo una etapa más en el esfuerzo de crear “espacios de color uniformes”.

2.6.0- LA MEDICION DE LAS DIFERENCIAS DE COLOR

Los valores de X, Y, Z - y también los calculados a partir de ellos, como L^*, a^*, b^*, C^* y h° - pueden variar algo de una medida a otra, **dependiendo del equipo utilizado**, del color y/o de la textura de la superficie de la muestra cuyo color se mide. Esto no es muy importante pues, para fines prácticos lo que interesa es, en general, la medición de **diferencias de color** entre una **muestra** y un **patrón** o **estándar**. La distancia espacial entre dos puntos de color se denomina "**diferencia de color total**" y se designa como ΔE^* que se subdivide en tres diferencias: la de "matiz" ΔH^* , la de "saturación" o "pureza" ΔC^* y la de luminosidad ΔL^* . El cálculo de estas diferencias las realiza el **programa del ordenador** del equipo de medición.

Coordenadas del patrón o estándar: $a^*_T, b^*_T, L^*_T, C^*_T, h^\circ_T$

Coordenadas de la muestra ensayada: $a^*_p, b^*_p, L^*_p, C^*_p, h^\circ_p$

Diferencias parciales: $\Delta a^* = a^*_p - a^*_T$; $\Delta b^* = b^*_p - b^*_T$

Diferencia angular de matiz o "croma": $\Delta h^* = h^\circ_p - h^\circ_T$

Diferencia de saturación: $\Delta C^* = C^*_p - C^*_T$

Diferencia de luminosidad: $\Delta L^* = L^*_p - L^*_T$

Diferencia total: $\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$ (Fig. 10.29)

Diferencia métrica de matiz o "croma": $\Delta H^* = (\Delta E^{*2} - \Delta L^{*2} - \Delta C^{*2})^{1/2}$

Diferencia total: $\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta C^{*2} + \Delta H^{*2})^{1/2}$ (Fig. 10.30)

Si se fija un dado límite de tolerancia para ΔE^* , se podría aprobar *p. ej.* una partida de tela teñida si su diferencia de color, con la muestra estándar, queda dentro de ese límite. Sin embargo, dos partidas pueden tener el mismo ΔE^* , con respecto al estándar, pero ser **visualmente diferentes** entre sí debido a que $\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$ puede dar el mismo resultado para ambas partidas, pero con distintas combinaciones de los valores Δa^* , Δb^* y ΔL^* . Por tanto para evaluar una diferencia de color se deben tener en cuenta todos los componentes de ΔE^* (es decir ΔL , ΔC , ΔH). Es interesante también tener en cuenta que el ΔE^* que resulte de determinar el color de una determinada muestra bajo **diferentes iluminantes**, es un valor objetivo para una evaluación de la **metamería** (ver pág. 23).

DIFERENCIAS EN COORDENADAS RECTANGULARES $L^* a^* b^*$

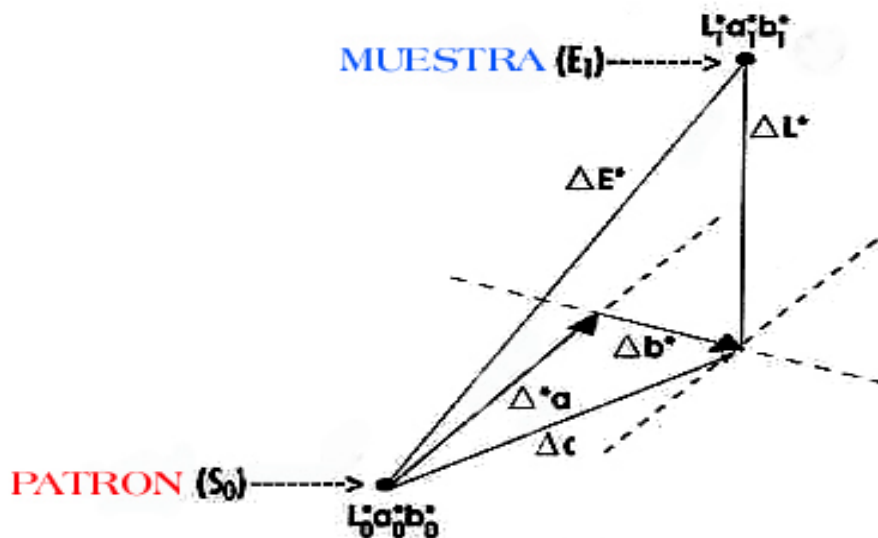


Figura 10.34

Tomada con autorización de DATACOLOR del folleto "Color y Colorimetría" de Alain Chrisment

DIFERENCIAS EN COORDENADAS POLARES $L^* C^* h$

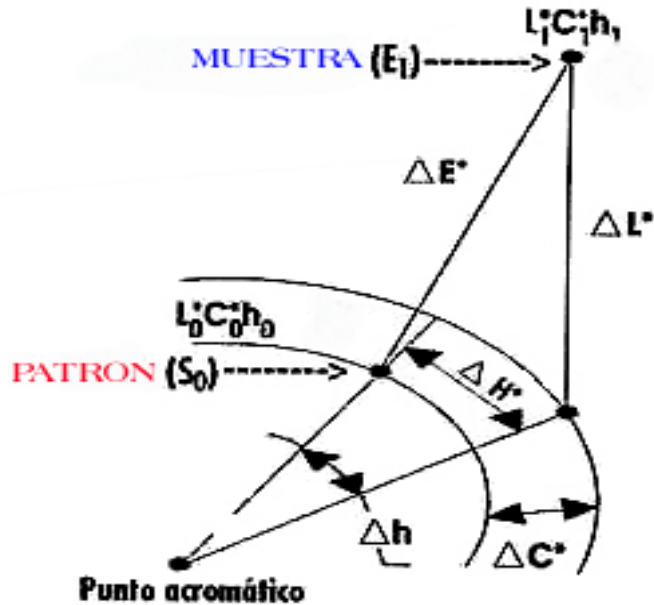
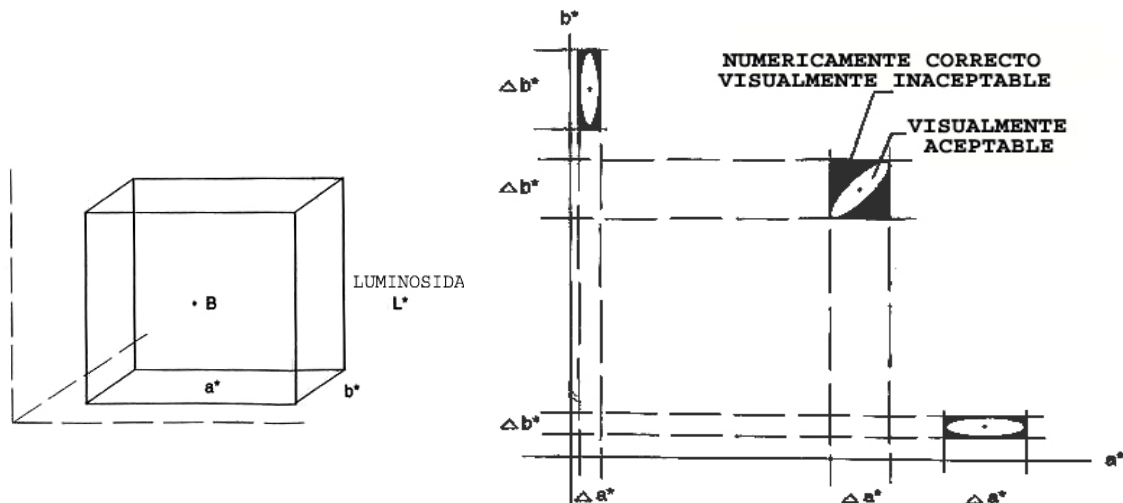


Figura 10.35

Tomada con autorización de DATACOLOR del folleto "Color y Colorimetría" de Alain Chrisment

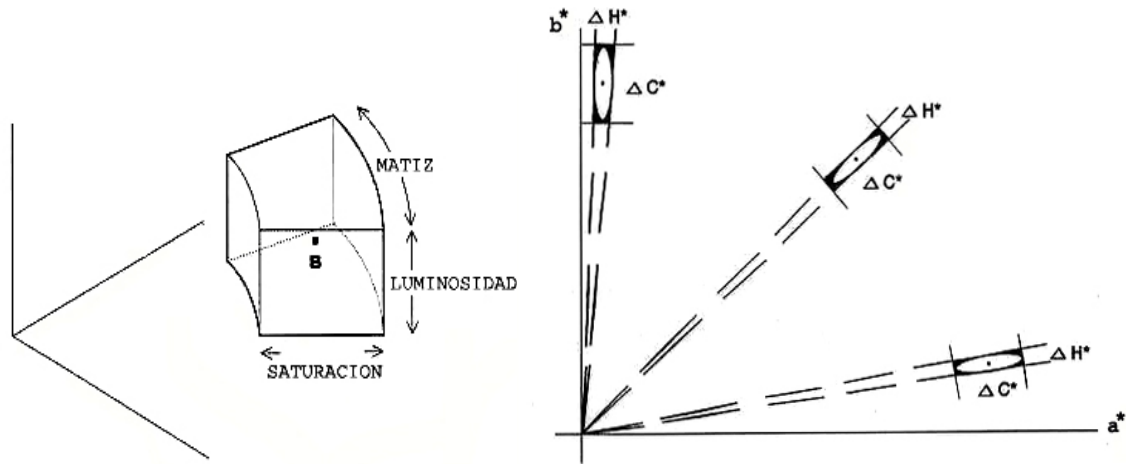
Una vez que se determina la posición L^*, a^*, b^* del color **patrón** o **estándar** se puede dibujar una "caja" o "volumen" de tolerancia rectangular alrededor de esa posición (Figs. 10.36 y 10.37). Como la **aceptación visual** tiene forma elíptica una **tolerancia** "rectangular", más grande que esa "elipse", puede dar **valores de lectura instrumental aceptables** para diferencias de color **visualmente inaceptables**. A la inversa, si el "rectángulo" de **tolerancia** es más pequeño, y entra dentro de la "elipse", se pueden obtener **valores de lectura inaceptables** para diferencias de color **visualmente aceptables**.



Figuras 10.36 y 10.37 - Tomadas del folleto "Métodos de Tolerancia de Color", publicado por la empresa X-RITE

Si utilizamos el sistema polar de coordenadas $L^*, C^*, \Delta H^*$ (Figs. 10.35, 10.38 y 10.39) podemos establecer una "caja" o espacio de tolerancia con una mejor concordancia entre los valores de

lectura instrumental y la **percepción visual** de diferencias de color. Esta concordancia aunque mayor que cuando utilizamos el rectángulo de tolerancia L^*, a^*, b^* , es aún insatisfactoria.



Figuras 10.38 y 10.39 - Tomadas del folleto "Métodos de Tolerancia de Color", publicado por la empresa X-RITE

2.7.0- TOLERANCIAS DE COLOR CMC Y CIE 94

Para mejorar aún más la concordancia entre los *valores de lectura instrumental* y la *percepción visual de las diferencias de color*, un Comité de "The Society of Dyers and Colourists" (el "Color Measurement Committee" o "CMC") desarrolló una modificación del "Sistema CIELCH". Este nuevo procedimiento conocido como "Sistema de Conformidad CMC" resulta de modificar la fórmula $\Delta E^* = (\Delta L^* + \Delta C^* + \Delta H^*)^{1/2}$ ponderando las diferencias de luminosidad, saturación y matiz mediante términos correctores psicométricos, ligados ellos mismos a la luminosidad, saturación y matiz.

$$\Delta E_{CMC} = [(\Delta L^*/lS_L)^2 + \Delta C^*/cS_C)^2 + \Delta H^*/S_H)^2]^{1/2}$$

El sistema **CMC** establece un **espacio elipsoidal** alrededor del valor del "patrón" o "standard". Ese elipsoide tiene semi-ejes correspondientes al matiz (S_H), a la saturación (S_C) y a la luminosidad (S_L) y representa el **volumen de perceptibilidad de diferencias de color**. **Estos elipsoides varían en tamaño y forma según su posición en el espacio de color**. Los términos correctores S_H , S_C y S_L han sido evaluados empíricamente y se expresan mediante fórmulas que permiten su cálculo previo.

Los factores suplementarios l y c son ajustables por el usuario en cada caso. El ojo humano, en general, puede percibir cambios más grandes en **luminosidad** que en **cromaticidad**. La ecuación **CMC** permite que la proporción entre luminosidad y cromaticidad sea ajustada para obtener mejor concordancia para materiales y aplicaciones específicas. Así p.ej., *para compensar el brillo de la muestra*, en la industria textil se usa una proporción $l:c$ de 2:1 mientras que, para la industria del plástico se toma un $l:c$ de 1,4:1.

En algunas transacciones comerciales también se puede llegar al acuerdo de fijar un factor, denominado cf , a todas las dimensiones del elipsoide y considerar aceptable las diferencias de color iguales o menores a cf . Trabajos posteriores mejoraron la fórmula **CMC** y, en 1994, la CIE propuso la siguiente nueva fórmula:

$$\Delta E_{94} = [(\Delta L^*/k_l \cdot S_L)^2 + (\Delta C^*/k_c \cdot S_C)^2 + (\Delta H^*/k_H \cdot S_H)^2]^{1/2} \quad (\text{Fórmula CIE 94})$$

En esta fórmula los factores k_L , k_C , k_H son factores correctores que dependen de las condiciones de observación de las muestras (ver referencia bibliográfica 5), (ver Figs. 10.40, 10.41 y 10.42)

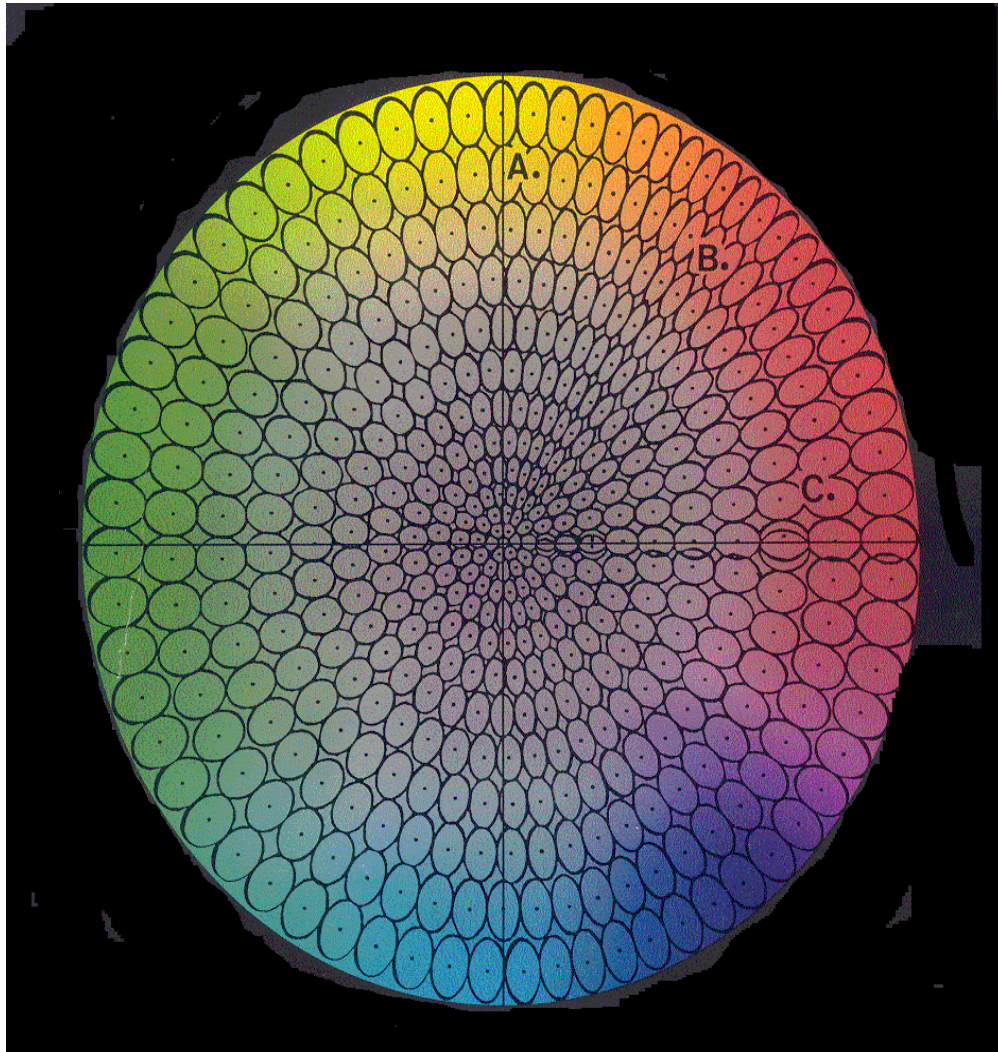
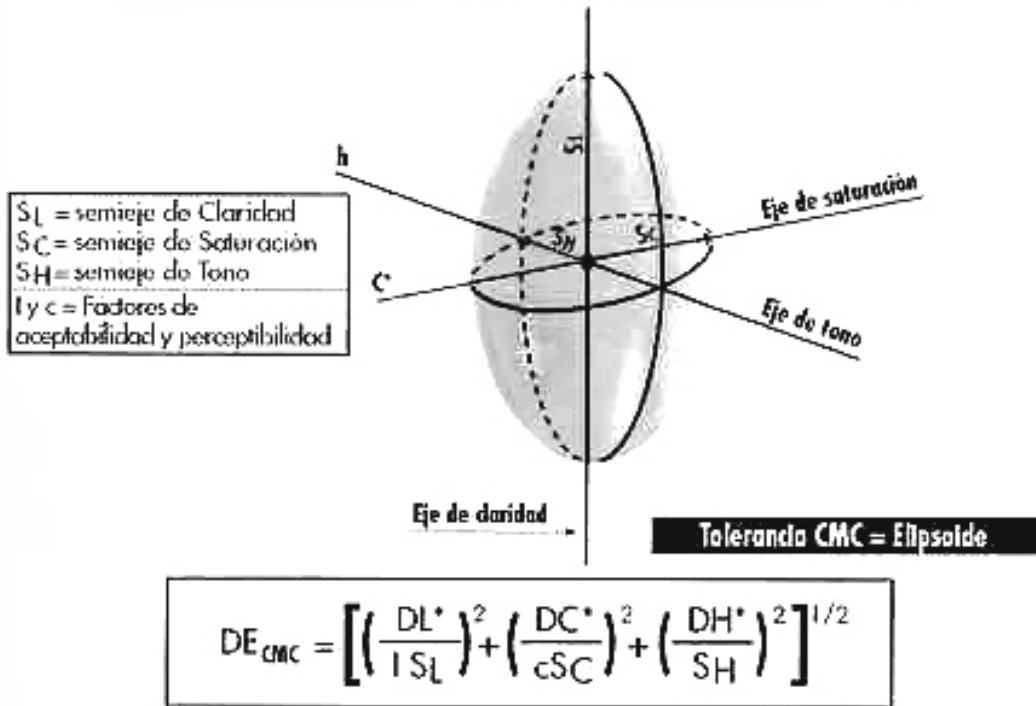


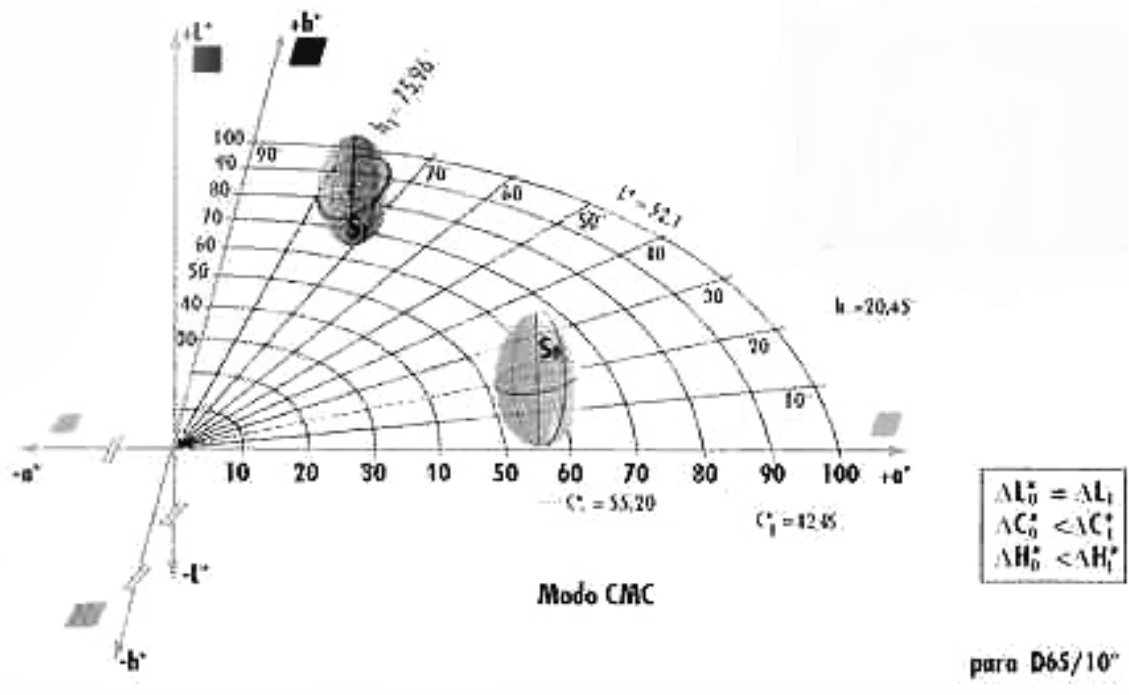
Figura 10.40

Si el espacio de color fuera uniforme, en lugar de elipses tendríamos círculos de igual tamaño en todo el espacio. Hacia el centro del espacio, hacia el eje de los grises, las elipses son más chicas, es decir la tolerancia es menor o la sensibilidad del ojo es mayor. Por esta razón es muy difícil igualar los tonos grises. En realidad, las elipses son la proyección en el plano unidad de volúmenes con forma de pelota de "rugby"

FORMULA DE ACEPTABILIDAD CMC



TOLERANCIAS CMC EN EL ESPACIO CIELAB



Figuras 10.41 y 10.42
 Tomadas, con autorización de DATACOLOR, del folleto "Color y Colorimetría" de Alain Chrismont

2.8.O- SISTEMA NCS (“Sistema Natural de Color”)

El “Sistema Natural de Color” fue desarrollado en Suecia a fines de 1969 y es especialmente utilizado en la industria de tintas y pinturas. Considera seis colores “puros” o “matices” elementales claramente identificados por el ojo humano: *Blanco (W)*, *Negro (S)*, *Amarillo (Y)*, *Rojo (R)*, *Azul (B)* y *Verde (G)*

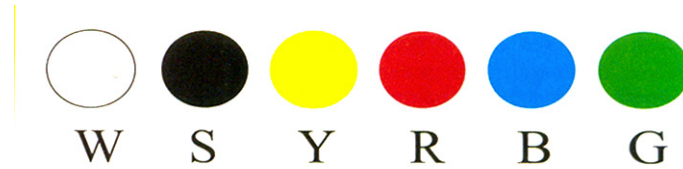


Figura 10.43

La notación NCS establece la semejanza del color problema con dos o más “matices” elementales. Los primeros dos dígitos de la notación representan el porcentaje de negro (S), los segundos dos dígitos representan el porcentaje de cromaticidad del color. La última parte de la notación representa el “tono” del color entre los dos “matices” en que se ubica. En el ejemplo de la *Figura 10-44* el color está ubicado entre el amarillo (Y) y el rojo (R) con una proporción de rojo del 90%

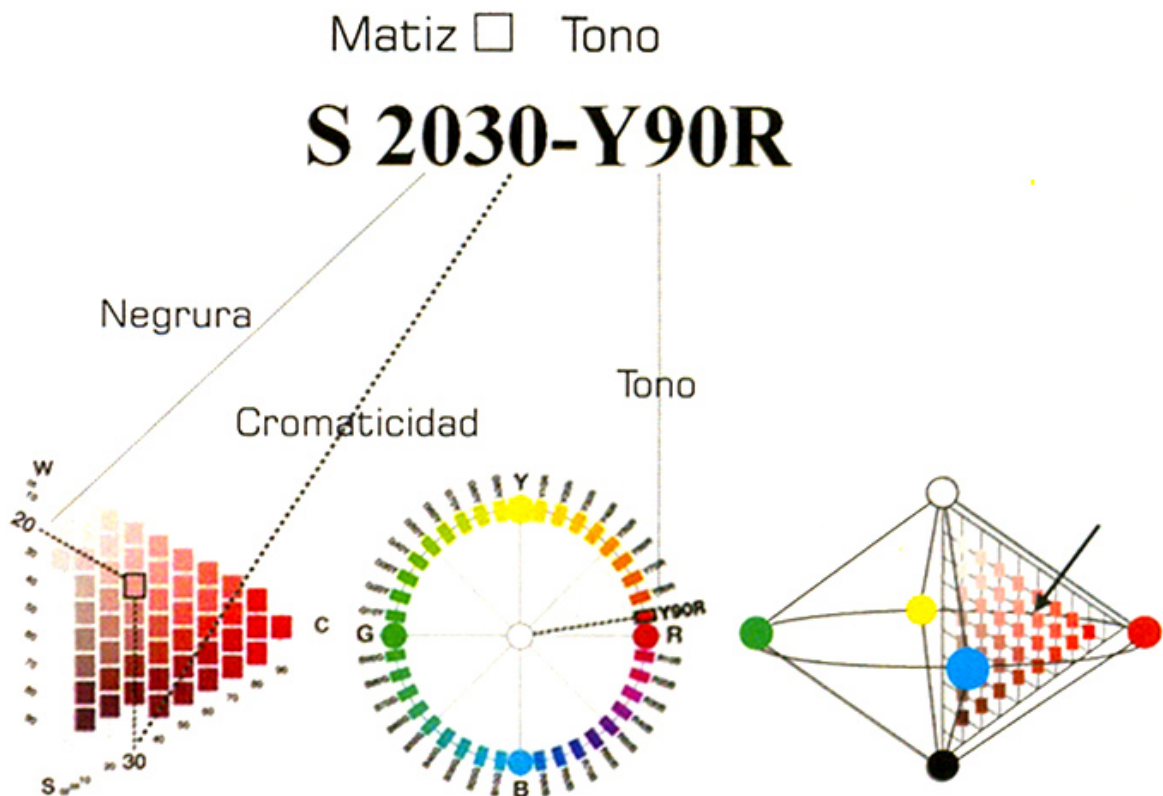


Figura 10.44- SISTEMA NCS

2.9.0- LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN DE COLOR

Como se mencionó anteriormente existen actualmente equipos que nos permiten realizar mediciones **objetivas** del color. En general constan de un espectrofotómetro de reflexión y de una computadora asociada (Figura 10.51). El *espectrofotómetro* registra la **curva de reflectancia %** de la muestra coloreada, a intervalos de longitud de onda que pueden ser p.ej. de 10 nm o menos. La muestra puede ser iluminada, por distintos iluminantes estándar, bajo diversos ángulos y observada también bajo distintos ángulos y modalidades (Figura 10.45; 10.47; 10.48; 10.49). La variación del ángulo de observación puede dar lugar a diferencias de color (“*metamería geométrica*”).

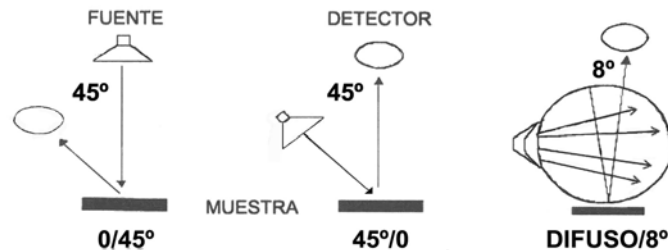


Figura 10.45

La **curva de reflectancia %** de la muestra coloreada y los **coeficientes de distribución del iluminante** son multiplicados, longitud de onda por longitud de onda, por el programa del ordenador que calcula así los valores triestímulo **X, Y, Z** para la muestra ensayada (ver Secciones 2.1.0 y 2.2.0). A partir de esos valores el programa del ordenador puede calcular **L*, a*, b*, C*, ΔH***. Si la muestra problema se compara contra los valores obtenidos previamente de la observación de una muestra patrón, el programa del equipo puede suministrar también los valores de diferencia de color **ΔE*, ΔE_{CMC}** y **ΔE₉₄**.

Para establecer recetas de tintura, el programa de la computadora debe también **relacionar el color con las concentraciones del colorante** (o combinación de colorantes) que se utilicen para teñir. Además, cuando se deben teñir sustratos que poseen una superficie texturada o corrugada que **dispersa** la luz - como ocurre con algunas telas, pieles, papeles, etc. - se deben establecer correcciones de las lecturas empleando las **ecuaciones de Kubelka-Munk** (usadas en astronomía para el estudio de la dispersión de la luz de los cúmulos de estrellas). Con estas ecuaciones se pueden transformar las curvas de **reflectancia** espectrofotométricas en **curvas de absorción/dispersión (K/S)** que entonces se relacionan en forma más adecuada con las **concentraciones (C)** de colorante sobre el sustrato:

$$A_{\lambda} = K_{\lambda T}/S_{\lambda T} \text{ (del sustrato teñido)} - K_{\lambda S}/S_{\lambda S} \text{ (del sustrato sin teñir)}$$

$$A_{\lambda} = K_{\lambda T}/S_{\lambda T} = b \cdot C_1,$$

$$K_{\lambda}/S_{\lambda} = (1 - R_{\lambda})^2 / 2R_{\lambda}$$

- A_{λ} = Energía absorbida por el colorante (o combinación de colorantes) a la longitud de onda λ .
- K_{λ} = Absorción de luz del sustrato, teñido o no ($K_{\lambda T}$ y $K_{\lambda S}$), a la longitud de onda λ .
- S_{λ} = Dispersión (reflexión no especular) de luz para el sustrato textil, teñido o no, a una dada λ .
- $K_{\lambda S}/S_{\lambda S}$ = cte., para un dado sustrato
- R_{λ} = Reflexión especular a la longitud de onda λ (1 para el 100%, 0,5, % para el 50%, etc.)
- b = Cte. que depende del colorante, de λ , del sustrato y de las condiciones de la tintura
- C_1 = Concentración del o los colorantes, %

Habrán un K_{λ}/S_{λ} para cada concentración C de colorante sobre el sustrato (Figura 10.46).

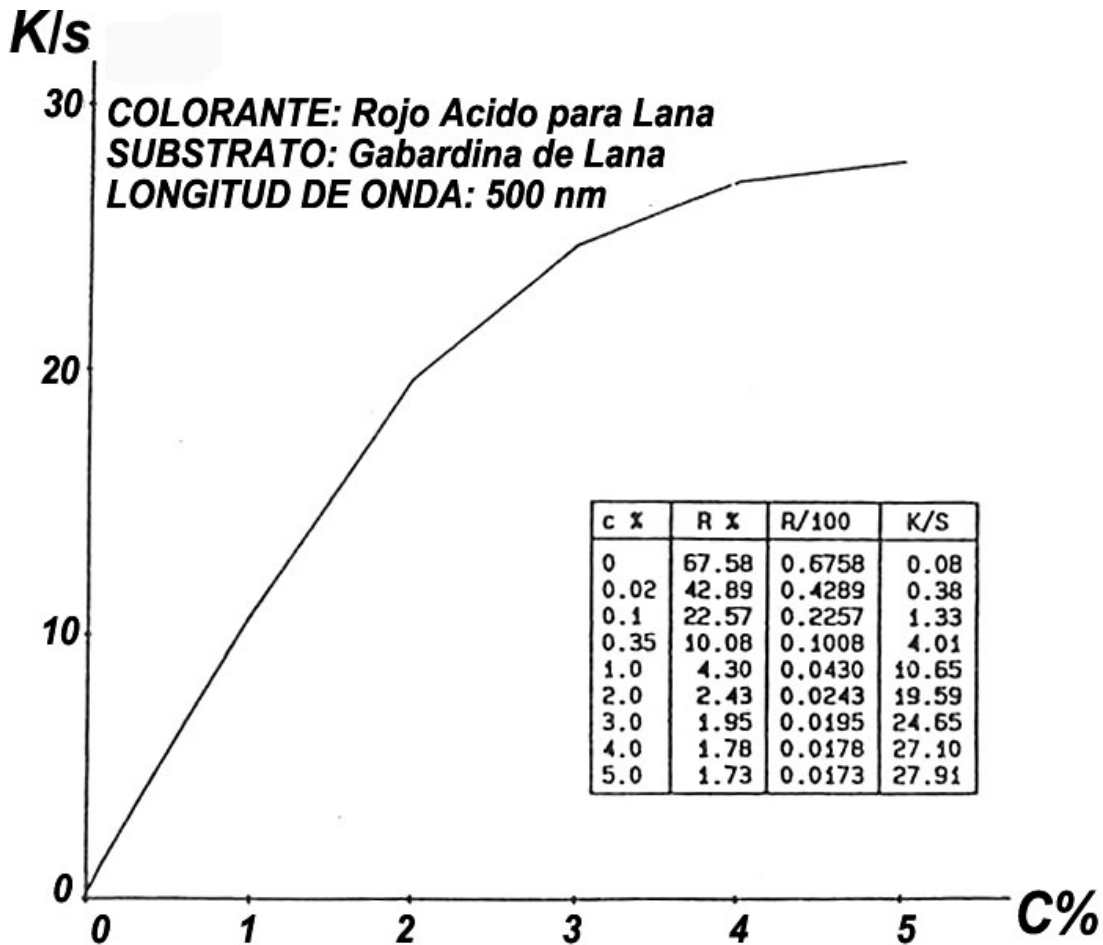


Figura 10.46

Para bajas intensidades de color, la constante de proporcionalidad **b** es prácticamente independiente de la concentración de colorante. A altas concentraciones se producen desviaciones de la linealidad.

Para elaborar recetas de tintura, el ordenador debe haber sido alimentado previamente con la información correspondientes a estas curvas de K_λ/S_λ vs. C , para cada uno de **los colorantes que estén disponibles en la tintorería, teñidos a distintas concentraciones sobre cada substrato textil**. Para calcular $K_\lambda/S_\lambda = (1 - R_\lambda)^2 / 2R_\lambda$ deben obtenerse entonces previamente los valores de R para una dada λ , a distintas concentraciones del colorante³. Es una tarea ardua pero que, una vez hecha, le permitirá a la tintorería reducir al mínimo los tiempos de ajuste de color, aumentando la eficiencia y rapidez en la igualación y reproducibilidad de los colores. Con estos equipos, el tintorero puede también disponer de recetas optimizadas para los determinados requerimientos de solidez y costos que soliciten sus clientes.

Diremos finalmente que, **para muchos fines prácticos**, puede prescindirse de estos costosos equipos electrónicos pues es suficiente la medición **subjetiva** del color en una cabina de observación, de construcción normalizada, comparando la muestra problema contra la muestra patrón bajo la luz de, por lo menos, tres iluminantes estándar (Figura 10.50).

³ Existen Tablas que dan $K/S = (1 - R_\lambda)^2 / 2R_\lambda$ para cada valor de $R\%$

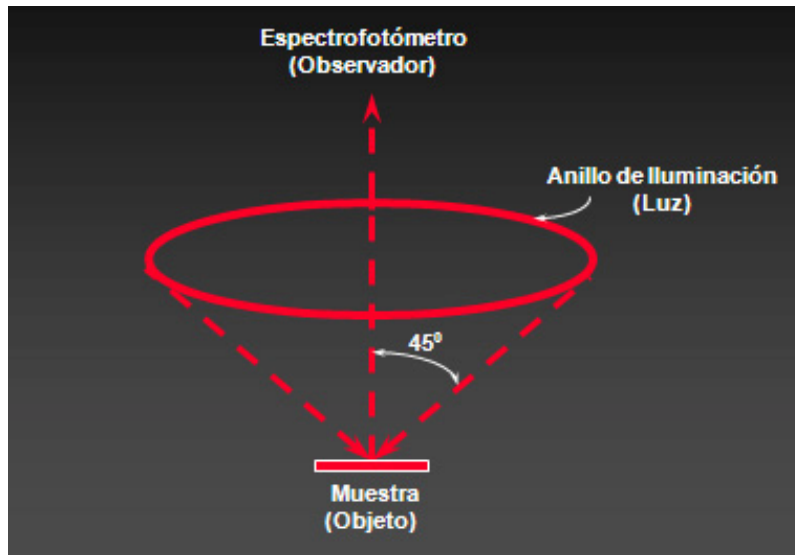


Figura 10.47 – Equipos de medición: geometría óptica 45/0

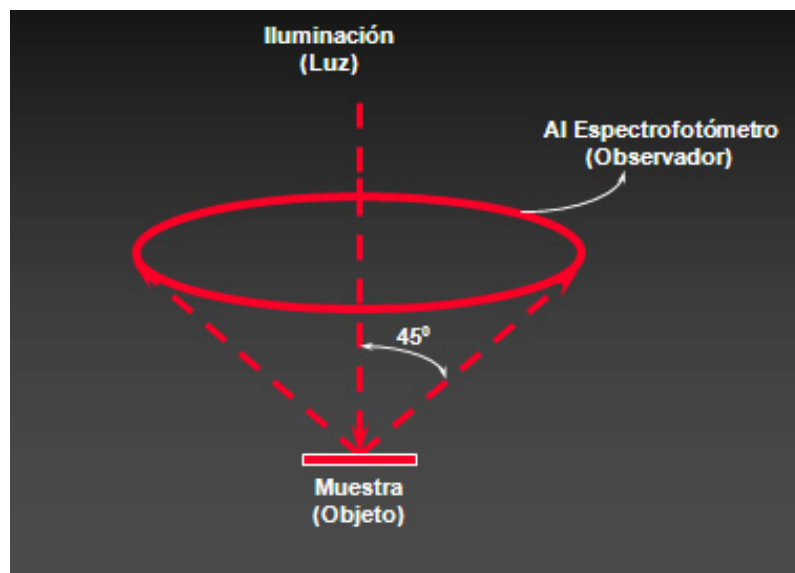


Figura 10.48 – Equipos de medición: geometría óptica 0/45

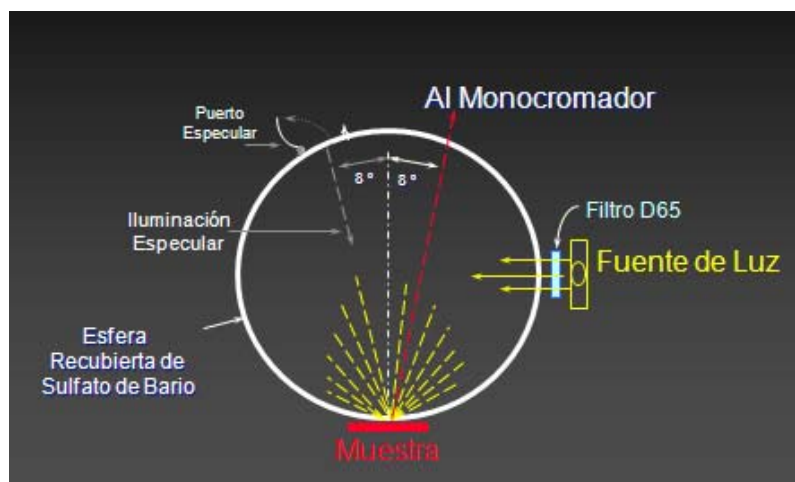


Figura 10.49 – Equipos de medición: esfera integrada d/8

(Figuras tomadas de una presentación de la empresa DATACOLOR)



Figura 10.50
CAJA DE COMPARACIÓN VISUAL
Con iluminantes estándar



Figura 10.51
EQUIPO DE MEDICIÓN DE COLOR
Espectrofotómetro de reflexión y computadora

2.10.0- LA NOTACIÓN MUNSSELL

En el año 1920 el artista norteamericano **A.H. Munsell** ideó un catálogo de colores en el que a cada color se le asignaba una notación, en letras y números, correspondiente a su matiz, saturación y luminosidad, de acuerdo al lugar que ocuparía en un espacio tridimensional de color. Fue por tanto un adelantado en desarrollar un sistema objetivo de medición del color.

En el sistema "**Pantone**" también se les asigna - a una gran cantidad de colores de un catálogo - una notación que los identifica. Con estas identificaciones, un proveedor y un cliente separados por miles de km, pero ambos poseyendo el catálogo, se pueden poner rápidamente de acuerdo por teléfono o correo electrónico, sobre el color requerido.

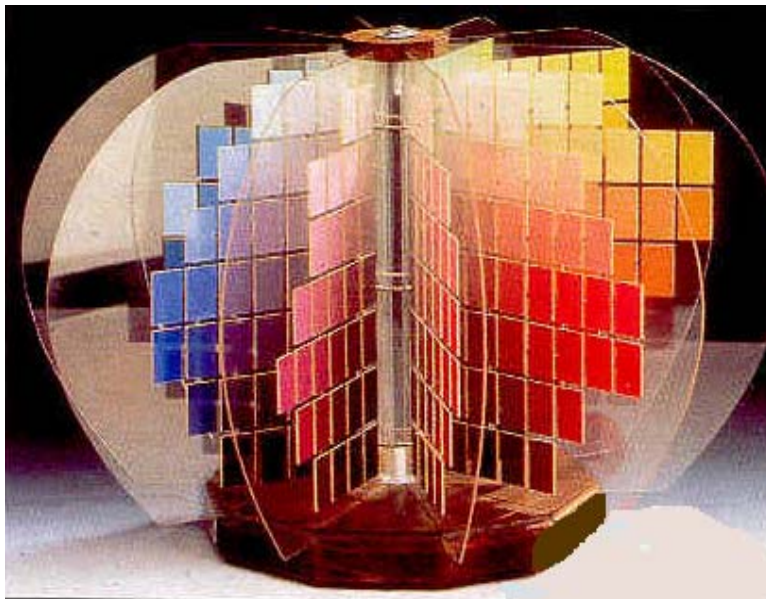


Figura 10.52
REPRESENTACIÓN ESPACIAL DEL ATLAS DE MUNSSELL

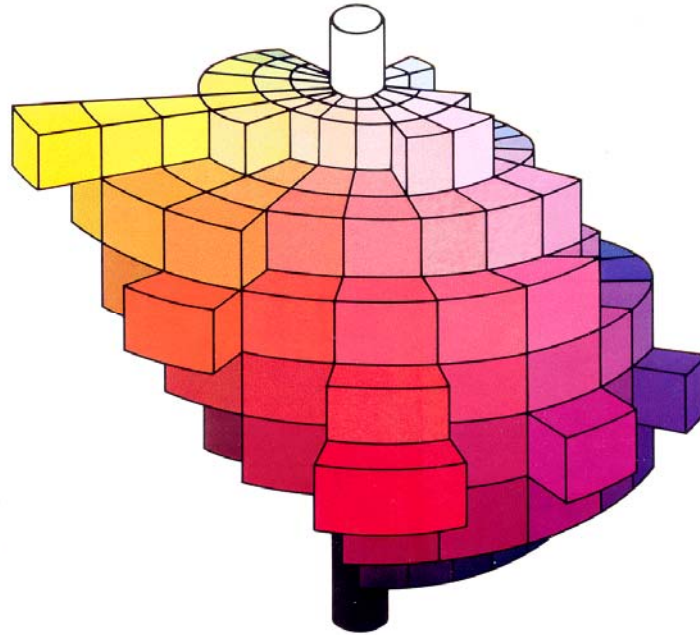


Figura 10.53

Debido a que los valores de **cromaticidad**, tomados en cada plano horizontal, varían para cada **tono** y para cada **nivel de luminosidad**, la visión tridimensional del **espacio del color** tendría una forma asimétrica similar a esta. Observando atentamente esta figura podemos apreciar su coherencia con las ideas expresadas por J.W. Goethe a principios del siglo XIX (ver página 14)

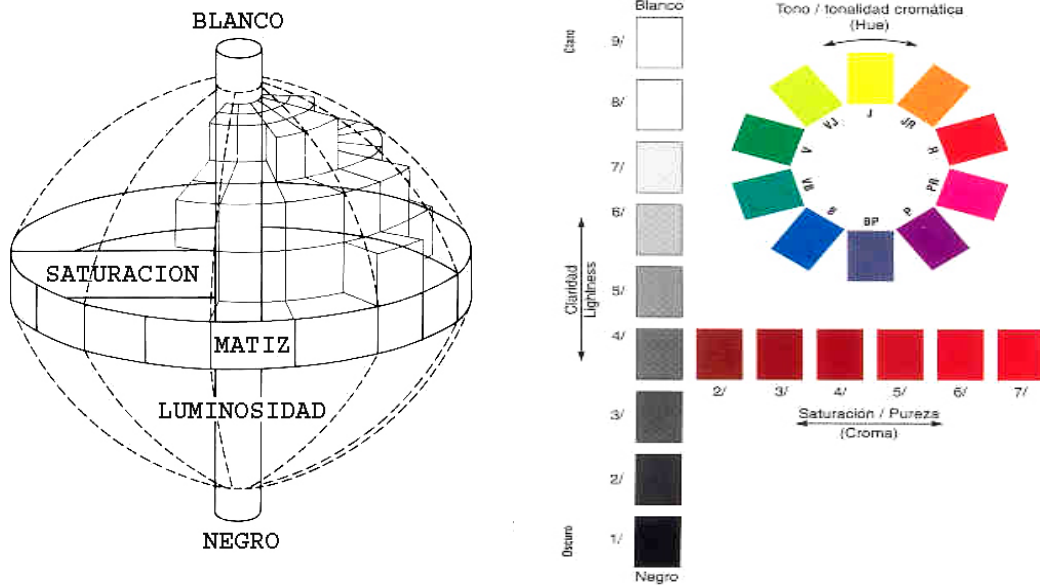


Figura 10.54

MATIZ, SATURACIÓN Y LUMINOSIDAD

“Cada color es amigo de su vecino y amante de su complementario”. Marc Chagal

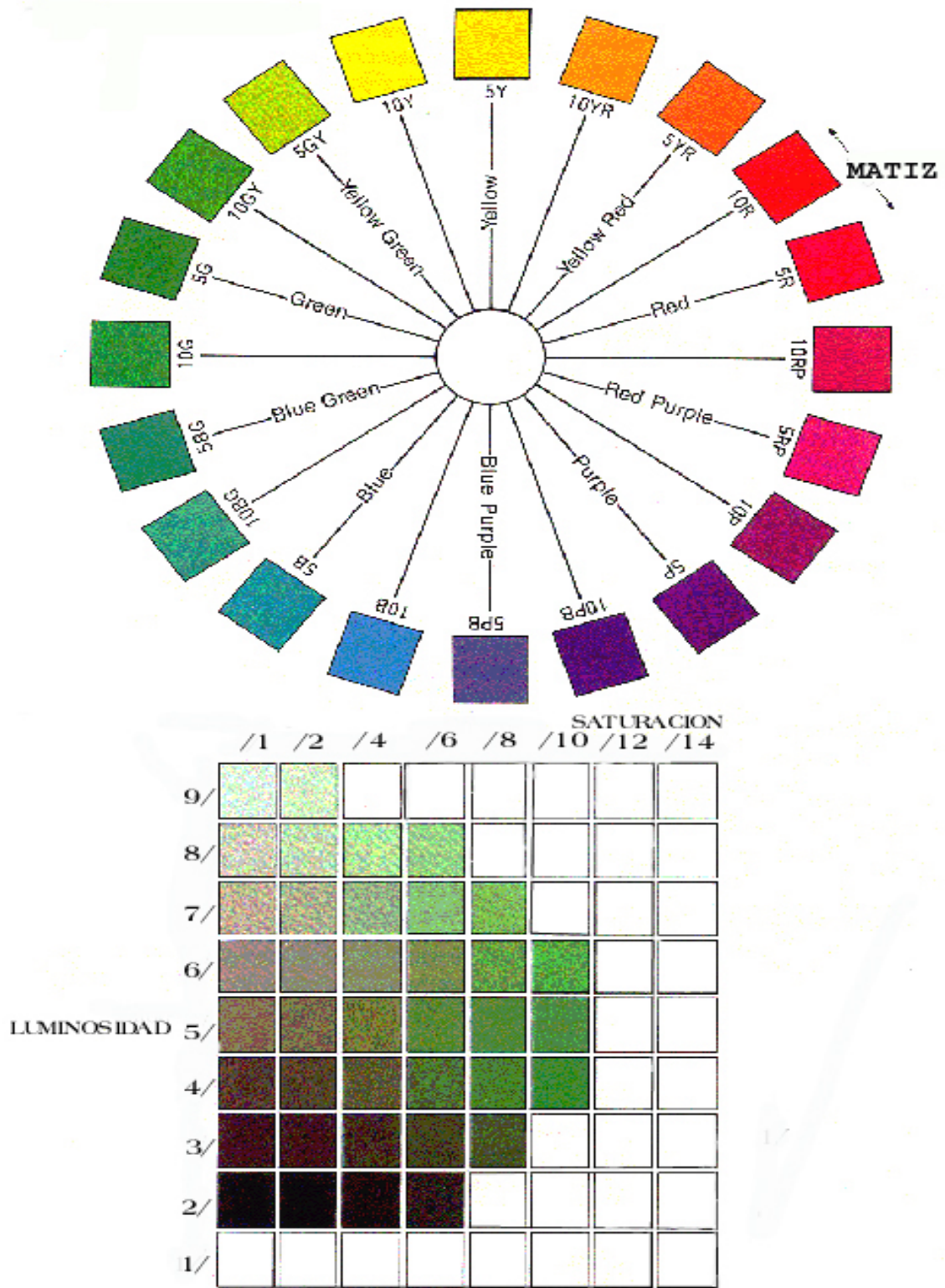


Figura 10.55
 Una hoja de Catálogo Munsell con los valores de **saturación** y **luminosidad** correspondientes a un dado **matiz**, el matiz verde **5G**, del círculo de colores de arriba.

TABLA 10.1

EJEMPLO DE CALCULO DE LOS VALORES X,Y,Z								
1	2	3	4			5		
LONGITUD DE ONDA nm	ILUMINANTE C Valores relativos de energía (1)	REFLECTANCIA R % (2)	VALORES DE SENSIBILIDAD (3)			VALORES TRIESTIMULO X,Y,Z		
			x-	y-	z-	(4)	(4)	(4)
400	0,601	0,051	0,0143	0,0004	0,0679	0,00044	0,00001	0,00208
410	0,765	0,051	0,0435	0,0012	0,2074	0,00170	0,00005	0,00809
420	0,982	0,050	0,0760	0,0040	0,6456	0,00373	0,00020	0,03170
430	1,067	0,050	0,2839	0,0116	1,3856	0,01515	0,00062	0,07392
440	1,154	0,050	0,3483	0,0230	1,7471	0,02010	0,00133	0,10081
450	1,178	0,047	0,3362	0,0380	1,7721	0,01861	0,00210	0,09811
460	1,169	0,045	0,2908	0,0600	1,6692	0,01530	0,00316	0,08781
470	1,176	0,044	0,1954	0,0910	1,2876	0,01011	0,00471	0,06663
480	1,177	0,043	0,0956	0,1390	0,8130	0,00484	0,00703	0,04115
490	1,146	0,041	0,0320	0,2080	0,4652	0,00150	0,00977	0,02186
500	1,065	0,041	0,0049	0,3230	0,2720	0,00021	0,01410	0,01188
510	0,972	0,041	0,0093	0,5030	0,1582	0,00037	0,02005	0,00630
520	0,920	0,041	0,0633	0,7100	0,0782	0,00239	0,02678	0,00295
530	0,931	0,041	0,1655	0,8620	0,0422	0,00632	0,03290	0,00161
540	0,970	0,041	0,2904	0,9540	0,0203	0,01155	0,03794	0,00081
550	0,999	0,042	0,4334	0,9950	0,0087	0,01818	0,04175	0,00037
560	1,000	0,043	0,5945	0,9950	0,0039	0,02556	0,04279	0,00017
570	0,972	0,050	0,7621	0,9520	0,0021	0,03704	0,04627	0,00010
580	0,929	0,075	0,9163	0,8700	0,0017	0,06384	0,06062	0,00012
590	0,885	0,145	1,0263	0,7570	0,0011	0,13170	0,09714	0,00014
600	0,852	0,290	1,0622	0,6310	0,0008	0,26245	0,15591	0,00020
610	0,840	0,465	1,0026	0,5030	0,0003	0,39162	0,19647	0,00012
620	0,837	0,575	0,8544	0,3810	0,0002	0,41120	0,18337	0,00010
630	0,836	0,623	0,6624	0,2650	0,0000	0,34500	0,13802	0,00000
640	0,834	0,648	0,4479	0,1750	0,0000	0,24206	0,09458	0,00000
650	0,838	0,667	0,2835	0,1070	0,0000	0,15846	0,05981	0,00000
660	0,835	0,683	0,1649	0,0610	0,0000	0,09404	0,03479	0,00000
670	0,820	0,699	0,0874	0,0320	0,0000	0,05010	0,01834	0,00000
680	0,798	0,713	0,0468	0,0170	0,0000	0,02663	0,00967	0,00000
690	0,762	0,725	0,0227	0,0082	0,0000	0,01254	0,00453	0,00000
700	0,725	0,739	0,0114	0,0041	0,0000	0,00611	0,00220	0,00000
			10,6282	10,6815	10,6504	2,3888	1,3470	0,5570
						X	Y	Z

(1) Los valores correspondientes a la energía emitida por el iluminante están divididos por el valor de la energía emitida a $\lambda = 560$ (punto medio del espectro, aproximadamente), es decir **son valores relativos y adimensionales**.

(2) La relación porcentual entre la luz remitida o reflejada por un cuerpo para una determinada longitud de onda y, la luz que es reflejada por una superficie blanca ideal para esa longitud de onda, se conoce por "reflectancia %" y es por tanto también un número adimensional.

(3) Valores CIE, adimensionales, de sensibilidad espectral de un observador promedio resultantes de igualar, con diferentes proporciones de tres colores primarios imaginarios, los colores de un espectro equi-energético. Por esta razón las integrales, o las áreas por debajo de las tres curvas que representan esos valores, deben ser iguales (aproximadamente iguales, en este ejemplo).

(4) Valores resultantes de multiplicar, longitud de onda por longitud de onda (a intervalos de 10 nm), los valores relativos de energía emitida por el **iluminante** por los valores de reflectancia % del **objeto** y **por cada uno** de los **valores CIE de sensibilidad** x-, y-, z-. Las integrales, o el área bajo las curvas que representan a esos valores, corresponden a los **valores tri-estimulo X, Y, Z** (adimensionales) del color que se observa. En este ejemplo las sumatorias de los valores correspondientes a las longitudes de onda, tomadas cada 10 unidades, entre 400 y 700 nm, dan como resultado: **X = 2,3888; Y = 1,3470; Z = 0,5570**.

3.0.0- BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Teoría de los Colores", J.W.Goethe, Ed. Poseidòn, Bs.As., 1954
- 2- "Colour in Business, Science and Industry", Judd, D.B. and Wyszecki, G., Chapman & Hall, 2nd. Ed., 1963.
- 3- "The Perception of Color", Ralph M. Evans, John Wiley & Sons, N.Y., 1974.
- 4- "El Color y su Medición", R.D. Lozano, Ed. Americalee, Bs.As., 1978
- 5- "Principles of Color Technology", F.W. Billmeyer, M. Saltzman, John Wiley & Sons, N.Y., 1981
- 6- "Colour Science. Concepts and Methods". Gunter Wyszecki and W. Stiles, Wiley, New York, 1982
- 7- "Colour, How We See it, How it is Measured", F.J.Heath, The Tintometer Ltd.,Salisbury, U.K.
- 8- "CIE System", F.J.Heath, The Tintometer Ltd.,Salisbury, U.K.
- 9- "Colorimetría, Una Introducción para técnicos tintoreros de la industria textil, papelera y de curtido", Bruno Meyer, H.R Zollinger, SANDOZ AG Basilea, Suiza, 1989
- 10- "Color Measurement in the Textile Industry", Dr. Andrea Brockes et col., Publ.. BAYER
- 11- "Color y Colorimetría", Alain Chrisment, Editions 3C Conseil, 19 Rue des Balkans,75020, Paris, France
- 12- "Guía acerca de los Métodos de Tolerancia del Color", folleto de la empresa "X-Rite"
- 13- "CMC: Calculation of Small Color Differences for Acceptability", AATCC Test method 173-1989.
- 14- Página WEB de la empresa DATACOLOR: <<https://www.datacolor.com>>
- 15- "Colour: Art and Science", Ed. T.Lamb and J.Bourriau, Cambridge University Press, 1995
- 16- "Colour Physics for Industry", R.McDonald, 2nd.Ed., The Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK, 1997.
- 17- "Color y Cultura", John Gage, Ediciones Siruela, 2001
- 18- "La Invención del Color", Philip Ball. Turner, Fondo de Cultura, 2003
- 19- "What Birds See", Timothy H. Goldsmith, Scientific American, July 2006, pag.50
- 20- Reflection on color, Carlos Cruz-Diez, Madrid 2009. La reflexión del artista en torno a sus estudios e investigaciones sobre el color realizadas a partir de 1954 entre Caracas, Barcelona y París.
- 21- "Trichromatic vision in mammals",http://www.mapoflife.org/topics/topic_328_Trichromatic-vision-in-mamals,October 17, 2001

4.0.0-APÉNDICE I – GENERALIDADES SOBRE ILUMINACIÓN

4.1.0 - FLUJO RADIANTE Y FLUJO LUMINOSO

Debemos distinguir entre **flujo radiante** y **flujo luminoso**. El **flujo radiante** es la cantidad de **energía emitida por unidad de tiempo**, sin considerar si tal radiación es visible o no, y es medida en **julios/segundo** ó **vatios**. El **flujo luminoso** corresponde a la sensibilidad del ojo humano frente a un **flujo radiante** dado o, dicho de otro modo, el **flujo luminoso** es **flujo radiante** valorado respecto a su capacidad de generar sensación de luz.

Una placa fotográfica es impresionada en forma **proporcional** a la cantidad de energía que recibe, cualquiera sea su longitud de onda. En cambio, aun cuando la cantidad de energía sea la misma para cualquier longitud de onda, la respuesta perceptiva del cerebro **no es linealmente proporcional** al estímulo energético recibido por el ojo. Esa respuesta corresponde a la curva de sensibilidad que se muestra en la *Figura 10.56* y que corresponde a la visión diurna o **fotópica**. Para la visión nocturna o **escotópica**, existe una curva de sensibilidad similar pero un poco desplazada hacia la izquierda (*desplazamiento de Purkinje*). A la longitud de onda de **555 nm** tendríamos entonces, el máximo de sensibilidad **fotópica** y se establece que, a esa longitud de onda, un flujo radiante de **1 vatio** (*1 julio/segundo*) corresponde a un **flujo luminoso** de **685 lúmenes**. A longitudes de onda extremas, **400 nm** y **700 nm** la sensibilidad luminosa es prácticamente cero, es decir el **flujo luminoso** es - para la mayoría de los seres humanos - cero o casi cero. La curva de la *Figura 56* mostraría entonces el **flujo luminoso** correspondiente a un **flujo radiante** constante de **1 vatio**. En la figura la escala de luminosidad es relativa pues se ha tomado el valor 1 para el máximo de la curva.

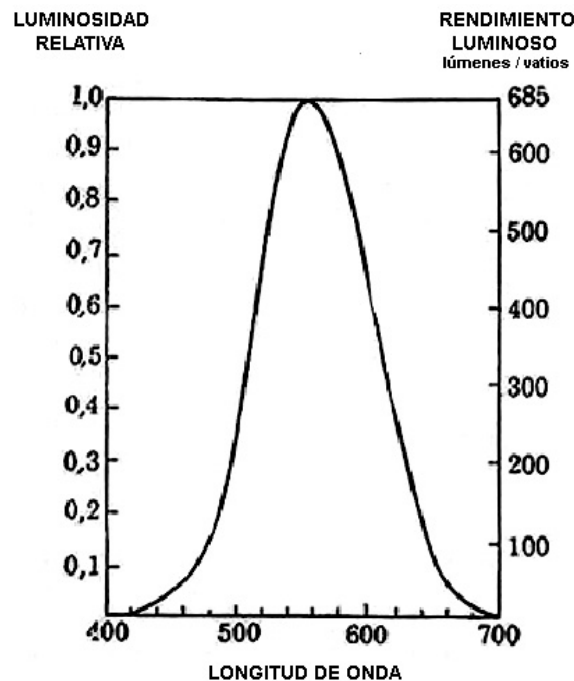


Figura 10.56

CURVA TIPO DE LUMINOSIDAD RELATIVA o de **EFICACIA LUMINOSA DEL OJO HUMANO**

La escala de luminosidad es relativa pues se ha tomado el valor 1 para el máximo de la curva.

Recordemos que el **julio** o **joule** es una unidad del **energía**, trabajo y/o calor. Se define como el trabajo realizado por una fuerza de **1 newton** en un desplazamiento de **1 metro**. Un **julio por segundo** corresponde a una **potencia** de un **vatio** (*w*).

Es evidente que el **lúmen** no corresponde a un número fijo de **vatios**. Por ej., según la *Figura 10.56*, a **600 nm** la luminosidad relativa es sólo 60% de la correspondiente a **555 nm**. Si el flujo radiante es 1 **vatio** para todas las longitudes de onda del espectro, a **600 nm** el **flujo luminoso** será de $685 \times 0,6 = 411$ **lúmenes**. Inversamente, si a esta longitud de onda el **flujo luminoso** es de un **lúmen** el **flujo radiante** será de $1/411 = 0,00243$ **vatios**. Entonces, en la *Figura 10.56*, las ordenadas de la izquierda nos dan el **rendimiento luminoso** del flujo monocromático a cualquier longitud de onda del espectro visible. De todas maneras se puede definir el **lúmen** como $1/685$ **vatios** de flujo radiante de longitud de onda **555 nm** capaz de generar sensación de brillo.

Debemos tener en cuenta que la mayoría de las fuentes luminosas hechas por el hombre, las **lámparas** p.ej., no convierten toda la potencia que reciben en **flujo radiante** sino que parte la convierten en **energía térmica**. Además, como gran parte del **flujo radiante** emitido por una lámpara corresponde a longitudes de onda para las que la luminosidad relativa es pequeña o nula, tendremos que el rendimiento total de una lámpara es en general bajo. Por ejemplo, el **rendimiento luminoso** de una lámpara de filamento de tungsteno de 40 w es sólo de unos 12 **lúmenes por vatio** y la de una lámpara fluorescente, también de 40 w, es de 58 **lúmenes por vatio**.

4.2.0 - ILUMINACIÓN O ILUMINANCIA DE UNA SUPERFICIE

Se define como **nivel de iluminación** o **iluminancia (E)** de una superficie al **flujo luminoso (F) total** que incide sobre esa superficie (**A**), es decir $E = F/A$, y se medirá en **lúmenes por metro cuadrado**. Se define un **lux** como un lúmen por metro cuadrado (**lúmen/m²**). El **nivel total de iluminación existente en una superficie** se puede medir con una **célula fotoeléctrica** provista de filtros adecuados (*filtros totales para el ultravioleta y el infrarrojo, parciales para algunas zonas del visible*) de tal modo que la respuesta del aparato sea similar a la sensibilidad del ojo humano.

TABLA 10.2

VALORES TÍPICOS DE ILUMINACIÓN	
FUENTE	lúmenes/m ² ó lux
Luz solar + luz difusa del cielo (máxima)	100.000
Luz solar + luz difusa del cielo (día nublado)	10.000
Interiores cerca de ventanas	1.000
Luz artificial, mínimo para leer	100
Luz de luna llena	0,2
Luz de estrellas	0,0003

4.3.0 - INTENSIDAD LUMINOSA DE UNA FUENTE PUNTUAL

Supongamos un manantial luminoso **puntual** emitiendo energía luminosa en todas direcciones pero consideremos solo una parte: la energía luminosa emitida como un cono de ángulo sólido ω **esterorradianes**¹ y con vértice en la fuente luminosa puntual (*Figura 10.57*).

¹ Un estereorradián es el ángulo sólido subtendido desde el centro de una esfera hasta la superficie de la misma, en la que proyecta un área igual al cuadrado del radio **R** de la esfera (sin importar la forma del área proyectada). Como el área de una esfera es igual a $4\pi R^2$ el ángulo sólido total alrededor de un punto será 4π estereorradianes.

La **intensidad (I)** del **flujo luminoso** - en la dirección del eje del cono - que atraviesa una sección cualquiera de dicho cono, se define como la relación del **flujo luminoso F** al **ángulo sólido ω** correspondiente a dicho cono, o sea como el **flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido**. La **intensidad luminosa (I)**, *en una dirección específica*, es entonces igual a F/ω y se mide en **lúmenes por estereorradián** o **candelas**. En general, los emisores reales no emiten en todas direcciones cantidades iguales de flujo luminoso por unidad de ángulo sólido (p.ej. una lámpara incandescente no puede emitir flujo luminosos en la dirección de su casquillo).

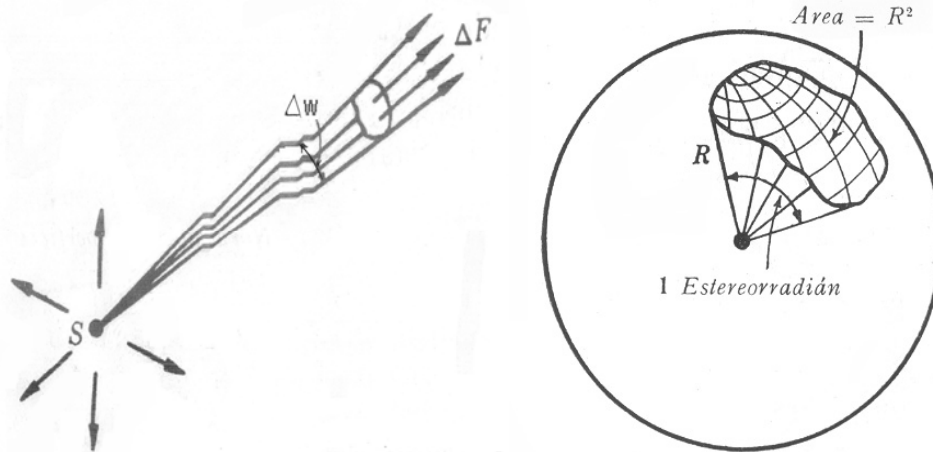


Figura 10.57 - Flujo luminoso **F** emitido desde una fuente puntual **S** como un cono de ángulo sólido ω esterorradianes (según F.W.Sears, M.W.Zemansky, Aguilar 1954)

4.4.0 - LUMINANCIA DE UNA SUPERFICIE OBSERVADA

Si una persona **observa** la luz **reflejada** - en una determinada dirección - por **una superficie** que está siendo iluminada por una lámpara, a la sensación de claridad observada se le llama **luminancia (L)** y se mide en **candelas por metro cuadrado (candela/m²)**. En un área de trabajo, varios elementos pueden influir en la **luminancia** de una superficie observada por una persona, p.ej. las ventanas, el techo, las paredes, etc. Por tanto la **luminancia** variará (*será mayor o menor*) según el ángulo de observación hacia la superficie iluminada. Es importante apreciar la diferencia conceptual entre la **iluminancia E**, expresada en **luxes** y que es el nivel de iluminación total realmente existente en una superficie y; la **luminancia L**, expresada en **candelas/m²** y que es la luminosidad o claridad que observa un observador al mirar una superficie bajo determinado ángulo.

4.5.0 - TEMPERATURA DE COLOR DE UN ILUMINANTE

Como se mencionó en la *Sección 1.1.0* cada **iluminante** tiene una "**curva espectral de emisión**" característica. El **iluminante** también puede ser caracterizado por su "**temperatura de color**" que es la temperatura **absoluta** - expresada en grados Kelvin - de un **cuerpo negro radiante** que, a esa temperatura, iguale el color del iluminante

4.6.0 - INDICE DE REPRODUCCIÓN DE COLOR

Si los colores de los objetos iluminados por un iluminante determinado se ven iguales que cuando se iluminan con un iluminante patrón, p.ej. la luz natural, se dice que el **índice de reproducción de color (IRC)** del iluminante en cuestión es **100** con respecto al iluminante

patrón. Cuando esto no es así, los valores del **IRC** serán menores a **100**. El **IRC** es un parámetro muy importante a la hora de seleccionar un iluminante con el que se van a iluminar determinados objetos, p.ej. alimentos en un escaparate.

4.7.0 - PRINCIPALES TIPOS DE LÁMPARAS

4.7.1 - LAMPARAS INCANDESCENTES

4.7.1.1 - Lámpara incandescente común

La lámpara incandescente común produce luz debido al pasaje de corriente eléctrica por un filamento de tungsteno de alta resistencia. El filamento - que está dentro de una ampolla de vidrio en la que se ha hecho vacío o contiene un gas inerte - entra en incandescencia a aproximadamente 2000°C produciendo luz y calor (*Figura 10.58*). Son las lámparas más antiguas pues después de muchos intentos previos fue perfeccionada por Thomas Edison en 1910. Con ellas se obtiene muy buena reproducción de color (*su luz es muy cercana a la luz natural del sol*), son de bajo costo y no necesitan de equipos auxiliares. Sus desventajas son su corta vida de funcionamiento, su baja eficacia luminosa (*el 90% de la energía se pierde en forma de calor*) y su importante depreciación luminosa con el tiempo.

Apariencia de color: blanco amarillo-anaranjado.

Temperatura de color: 2600 °K.

IRC: 100.

Vida útil promedio: 1000 h

4.7.1.2 - Lámpara incandescente halógena de Tungsteno

Las lámparas incandescentes halógenas de tungsteno (*Figura 10.59*) tienen un funcionamiento similar al de las lámparas incandescentes normales, pero con un halógeno incorporado en la ampolla (*generalmente iodo y/o bromo*) lo que ayuda a conservar el filamento. Aumenta así la vida útil de la lámpara y su temperatura de color. Su eficiencia luminosa es mayor y se pueden construir de menor tamaño. Presentan poca o ninguna depreciación luminosa en el tiempo, manteniendo una reproducción del color excelente. Como inconvenientes deben señalarse la alta temperatura que alcanzan (*alrededor de 250°C*) y la emisión de radiación ultravioleta que obliga a los fabricantes a añadir filtros protectores.

Apariencia de color: blanco.

Temperatura de color: 29000 °K.

IRC: 100.

Vida útil promedio: 2000 – 5000 h

4.7.2 - LÁMPARAS DE DESCARGA

4.7.2.1 - Lámpara de mercurio de baja presión (“*tubos lux*” y *lámparas de bajo consumo*)

Básicamente, estas lámparas constan de un tubo de vidrio con su pared interior revestido de sustancias fluorescentes llamadas comúnmente “*fósforos*” (*si bien no contienen generalmente el elemento químico fósforo*). Esos compuestos químicos emiten luz visible al recibir una radiación ultravioleta.

Dentro del tubo hay además, una pequeña cantidad de vapor de mercurio y un gas inerte, habitualmente argón o neón, a una presión más baja que la presión atmosférica. En cada extremo del tubo se encuentra un filamento que al aplicar la tensión de alimentación, se calienta induciendo la ionización de los gases. Dentro del tubo se forma entonces un plasma conductor que es atravesado por una corriente de electrones que interactúan con los átomos de Hg, Ar y Ne, excitándolos - especialmente a los de mercurio - a niveles de energía elevados. Cuando estos átomos regresan a sus niveles de energía inicial, devuelven o **descargan** la energía que recibieron previamente como radiación ultravioleta (UV). Esta radiación ultravioleta al impactar

contra la pared interior del tubo, excitará a la sustancia fluorescente que lo reviste y esta emitirá energía luminosa, es decir de longitudes de onda correspondientes a la región visible². Las lámparas fluorescentes producen así una luz blanca, con gran eficiencia energética, lo que las hace muy apropiadas para uso doméstico, comercial e industrial (*Figuras 10.60 y 10.61*). La **ventaja** principal de la lámpara fluorescente es que tiene un rendimiento luminoso que puede estimarse entre 50 y 90 lúmenes por vatio (*p.ej. con sólo 11 vatios iluminan lo mismo que una de incandescencia de 60 vatios*). Si bien son lámparas más costosas de adquirir y de instalar, esto se compensa con su larga vida de funcionamiento. Se ha estimado que si todos los países sustituyesen las lámparas incandescentes por estas lámparas, la caída del uso mundial de electricidad permitiría el cierre de más de 270 centrales eléctricas de carbón de 500 megavatios (MW). Como principal **desventaja** debe señalarse que su IRC no es bueno, pero en los últimos años se están alcanzando niveles aceptables especialmente con las **lámparas de mercurio de alta presión** (*Figura 10.62*). También el uso de **balastos electrónicos** a partir de aproximadamente 1985 ha corregido el molesto parpadeo que las caracterizaba. Otra desventaja es que en el momento de encenderse consumen mucha energía lo que no les hace aptas para ambientes donde se utilice la luz por breves periodos de tiempo. Apagarlas y encenderlas frecuentemente también reduce su vida útil. Finalmente se debe tener en cuenta que su contenido de mercurio, a la hora de desecharlas, las hace un residuo peligroso por lo que se debe cuidar de disponerlas adecuadamente para evitar daños ambientales.

Apariencia de color: diferentes blancos

Temperatura de color: 3000 – 8000 °K (más recomendado 4000 °K)

IRC: 50 - 95

Vida útil promedio: 5000 – 15.000 h

4.7.2.2 - Lámpara de sodio de baja presión

Existe una gran similitud entre el trabajo de una lámpara de sodio de baja presión y una lámpara fluorescente de mercurio de baja presión. Sin embargo, mientras que en la última, la luz se produce al convertir la radiación ultravioleta de la descarga del mercurio en radiación visible, utilizando un recubrimiento fluorescente en la superficie interna; la radiación visible de la lámpara de sodio de baja presión se produce directamente por la descarga de sodio. La lámpara producirá una luz de color amarillo, ya que en casi la totalidad de su espectro predominan las frecuencias cerca del amarillo. La reproducción de color será la menos valorada de todos los tipos de lámparas, pero sin embargo es considerada la lámpara de mayor eficiencia luminosa y larga vida (*Figura 10.63*).

Apariencia de color: amarillo

Temperatura de color: 1800 °K

IRC: no aplicable,

Vida útil promedio: 14.000 h

²El funcionamiento de la lámpara fluorescente es en realidad más complejo y sería necesario describir con más detalles el funcionamiento de los elementos auxiliares con los que debe contar un tubo fluorescente, como es el iniciador o "starter" y el "balasto" que provee **reactancia inductiva**. Las lámparas fluorescentes son dispositivos con pendiente negativa de su resistencia eléctrica, respecto de la tensión eléctrica. Esto significa que cuanto mayor sea la corriente que las atraviesa, mayor es el grado de ionización del gas y, por tanto, menor la resistencia que opone al paso de dicha corriente. Así, si se conecta directamente la lámpara a una fuente de tensión prácticamente constante, como la suministrada por la red eléctrica, la intensidad tenderá a valores muy elevados, y la lámpara se destruirá en pocos segundos. Para evitar esto, siempre se la conecta a través de un elemento limitador de corriente para mantenerla dentro de sus límites de trabajo. Este elemento limitador, es el balasto que provee reactancia inductiva, la que absorberá la diferencia entre la tensión de alimentación y la tensión de trabajo del tubo. De todas maneras la descripción anterior entendemos es suficiente para los fines que se plantea este trabajo. Para una descripción más detallada de la lámpara fluorescente sugerimos consultar literatura técnica especializada.

4.7.2.3 - Lámpara de sodio de alta presión

La diferencia de presiones del sodio en el tubo de descarga es la principal diferencia con respecto a las lámparas anteriores. El exceso de sodio en el tubo de descarga, para dar condiciones de vapor saturado, además de un exceso de mercurio y Xenón, hacen que tanto la temperatura de color como la reproducción del mismo mejoren notablemente. Son muy utilizadas para iluminación de parques, plazas, avenidas, autopistas (*Figura 10.64*).

Apariencia de color: blanco amarillo
Temperatura de color: 2000 - 2500 °K
IRC: 25 - 80
Vida útil promedio: 16.000 – 24.000 h

4.7.2.4 - Lámparas mezcladoras

La lámpara mezcladora deriva de la lámpara convencional de mercurio de alta presión. La diferencia principal entre estas dos es que, la última depende de un balasto externo para estabilizar la corriente de la lámpara, y la lámpara mezcladora posee un balasto incorporado en forma de filamento de tungsteno conectado en serie con el tubo de descarga. La luz de descarga del mercurio y la del filamento caldeado se mezclan, para lograr una lámpara con características operativas totalmente diferentes a aquellas que poseen tanto una lámpara de mercurio puro como una incandescente. La principal ventaja es que concentra las ventajas de ambos tipos (*Figura 10.65*).

Apariencia de color: blanco
Temperatura de color: 3600 °K
IRC: 60
Vida útil promedio: 6000 h

4.7.2.5 - Lámpara de halogenuros metálicos

Las lámparas de mercurio halogenado (*Figura 10.66*) son de construcción similar a las de mercurio de alta presión. La diferencia principal entre estos dos tipos, es que el tubo de descarga de la primera, contiene una cantidad de haluros metálicos además del mercurio. Estos haluros son en parte vaporizados cuando la lámpara alcanza su temperatura normal operativa, El vapor de haluros se disocia en halógeno y en metal dentro de la zona caliente central del arco. El metal vaporizado irradia un espectro apropiado. Hasta hace poco estas lámparas tenían una mala reputación por su luz de color inestable, su precio elevado y su poca vida. Hoy han mejorado aumentando su eficacia lumínica y el índice de reproducción del color, punto débil en casi todas las lámparas de descarga.

Apariencia de color: blanco frío
Temperatura de color: 4800 - 6500 °K
IRC: 65 - 95
Vida útil promedio: 9000 h

4.7.3 - LAMPARAS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La lámpara de inducción (*Figura 10.67*), introduce un concepto nuevo en la generación de la luz pues si bien se basa en el principio de descarga de gas a baja presión, prescinde de la necesidad de los electrodos para producir la ionización. Utiliza en cambio una antena interna, cuya potencia proviene de un generador externo de alta frecuencia para crear un campo electromagnético dentro del recipiente de descarga. Esto es lo que induce la corriente eléctrica en el gas y produce su ionización. La ventaja principal el gran aumento en la vida útil de la lámpara.

Apariencia de color: diferentes blancos
Temperatura de color: 2700 - 4000 °K

IRC: 80

Vida útil promedio: 60.000 h

4.7.4 - LAMPARAS LED ("*Light Emission Diode*", *Diodo de Emisión de Luz*)

Algunos materiales, cuando a través de ellos pasa una corriente eléctrica, emiten luz. Este fenómeno, descrito por Einstein en 1921, es conocido como electroluminiscencia o efecto fotoeléctrico. La luz producida tiene una longitud de onda determinada: es decir, es de un solo color que dependerá del tipo de material emisor. El fenómeno contrario es el de los paneles fotovoltaicos que generan electricidad al exponerlos a la luz.

El efecto fotoeléctrico se puede producir con un **diodo**. Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica en un solo sentido, es decir es un semiconductor. Los diodos que por pasaje de corriente eléctrica emiten luz se les conoce como "diodos emisores de luz" o abreviadamente **LED** ("*Light Emission Diode*")

Los diodos **LED** se conocen desde los años sesenta. Son los pilotos rojos y verdes que hay en casi todos los aparatos electrónicos. Cuando se aplica una pequeña corriente eléctrica, el diodo emite luz, sin producir calor y con un color definido (*Figura 10.68*). La emisión puede ser invisible para el ojo humano, como el LED infrarrojo de un mando a distancia del televisor.

Los **LED** presentan muchas ventajas sobre las lámparas incandescentes y fluorescentes. Tienen un consumo de energía mucho menor, mucho más durabilidad y son más brillantes. P.ej. un diodo **LED** puede durar 50.000 horas (*aproximadamente seis años encendido de manera constante*). Eso es 50 veces más que una bombilla incandescente. Tienen también un tamaño más pequeño, mayor resistencia a las vibraciones, no son frágiles y por tanto son especiales para sistemas anti-exposición, no se calientan, no contienen mercurio que contamine el medio ambiente, no crean campos magnéticos altos como las lámparas de inducción, tienen un alto IRC, se pueden utilizar en serie con sistemas foto voltaicos (*paneles solares*), no les afecta el encendido y apagado frecuente y esto no reduce su vida promedio.

Los diodos rojos y verdes son relativamente fáciles de fabricar pero, hasta hace poco, los azules no lo eran. Pero en 1993 se descubrió un proceso de fabricación de LED azules con dos compuestos: nitruro de galio y nitruro de indio. Como para obtener luz blanca solo habría que mezclar en partes iguales luz roja, verde y azul, el descubrimiento de los LED azules abrió la puerta a la iluminación doméstica así como a pantallas de computadoras más ligeras.

A pesar de todas estas ventajas, los LED todavía no están listos para llegar al consumidor medio pues aun son caros: p.ej. las lámparas de 3W, que pueden sustituir a una bombilla de 40W, cuestan alrededor de 65 euros. El ahorro en el consumo y la duración no son aun suficientes motivos para que haya una gran demanda. No ocurre así en otras aplicaciones, donde la duración y el consumo sí son factores importantes, como los semáforos, la iluminación de aviones o las linternas que se usan en deportes de riesgo (*como la alta montaña, la espeleología y otros*). Si bien aun resta mucho desarrollo, las lámparas LED (*Figuras 10.69 y 10.70*) seguramente se usarán cada vez más en el futuro.



Figura 10.58

Figura 10.59

Figura 10.60

Figura 10.61

Figura 10.62



Figura 10.63

Figura 10.64

Figura 10.65

Figura 10.66

Figura 10.67

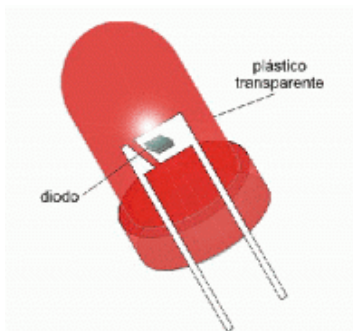


Figura 10.68



Figura 10.69



Figura 10.70

CAPITULO XI

LA CONFECCION DE VESTIMENTA



CONTENIDO

PÁGINA

<i>1.0.0- LA CONFECCIÓN DE VESTIMENTA.....</i>	<i>2</i>
<i>2.0.0- LAS ENTRETELAS.....</i>	<i>8</i>
<i>3.0.0- EL "CONFORT" DE LAS PRENDAS TEXTILES.....</i>	<i>12</i>
<i>4.0.0- EL CUIDADO DE LAS PRENDAS TEXTILES.....</i>	<i>14</i>
<i>5.0.0- LA GESTIÓN DE LA CALIDAD.....</i>	<i>15</i>

1.0.0 – LA CONFECCIÓN DE VESTIMENTA

Si bien la creatividad y la innovación en el diseño de una prenda textil es de fundamental importancia, se deben considerar también otros aspectos, igualmente importantes, si se pretende que el artículo proyectado tenga posibilidades de venta en el mercado. Algunos de esos aspectos, quedarían definidos por algunas de las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál será el uso final del artículo a producir? ¿Estará destinado a vestimenta? ¿Que tipo de vestimenta, formal, sport, de trabajo? ¿O será un artículo para el hogar, o para el mercado hotelero, o para un espectáculo artístico, etc.?
2. ¿Para qué segmento de la sociedad estará destinado? ¿Qué nivel económico, qué edad, qué sexo tendrán los consumidores?
3. ¿En qué temporada se le piensa vender? ¿En invierno, verano, otoño, primavera o en todo el año?
4. ¿Qué hábitos tiene el mercado al que se dirige el artículo? ¿En qué países o regiones se le piensa vender?
5. ¿El artículo irá dirigido a un mercado muy condicionado por la *moda*? ¿El condicionamiento establecido por la moda, en ese mercado o sector de mercado, es fuerte o débil?
6. ¿Qué ciclo de vida se prevé para el artículo? ¿Largo, corto? ¿Será un artículo descartable?
7. ¿La demanda está ya previamente establecida y se manifiesta por pedidos o puede generarse con presentación de muestras y modelos?
8. ¿El artículo proyectado tiene viabilidad técnica? ¿Qué tipo de fibras, hilados y telas se emplearán? ¿El *confort*, *aspecto*, *tacto*, *color*, *brillo*, *poder cubriente*, *“mano”*, *“caída”*, etc. serán los requeridos para el uso final al cual está destinado? ¿Las resistencias mecánicas, las solidesces húmedas y a la luz son adecuadas? Las respuestas a estas preguntas dependerán, muchas veces, de qué respuestas se den a las preguntas anteriores.

La confección de vestimenta puede ser una actividad *artesanal* o una producción *industrial* en gran escala. En este último caso, en general, se le califica como una “industria liviana” pues requiere relativamente poco capital y mucha mano de obra. La producción masiva de prendas de vestir es una típica actividad de países con economía en desarrollo. La industria de la confección en economías más desarrolladas, con costos de mano de obra más elevados, en general se limita a producir artículos de alta moda o de tecnología avanzada o que requieren una rápida respuesta a las demanda del mercado. En todos los casos, sin olvidar la totalidad de los aspectos que señalábamos más arriba, se puede afirmar que el *diseño*, el *color*, el *precio* y la *adaptación a la moda* son los elementos más importantes que generan la aceptación o no de una prenda textil por el mercado.

Debemos distinguir dos campos diferentes en la confección de vestimenta: la confección de prendas de *tejido de punto* y la confección de prendas hechas con *tejidos planos*. Las operaciones básicas del proceso de confección son diferentes en cada caso y se resumen en la *Tabla 11.1*.

La confección de prendas de punto es relativamente más sencilla que la confección con telas planas. Si se dispone de máquinas de tejer “full fashion”, estas tejen partes de la prenda con la forma requerida (*tejen con “menguado”*) y no es necesario entonces hacer moldes, ni extender ni cortar tela. Si, mejor aún, se dispone de máquinas de tejer de última generación, programadas por ordenador para tejer la prenda completa, de acuerdo a un diseño preestablecido, tampoco será necesario coser piezas previamente cortadas.

TABLA 11.1 * CONFECCIÓN DE PRENDAS

<i>OPERACIONES</i>	<i>PRENDAS DE TEJIDO DE PUNTO</i>	<i>PRENDAS DE TEJIDO PLANO</i>
Almacenado de materia prima	+	+
Diseño	+	+
Producción de moldes	-	+
Extendido de la tela	-	+
Cortado de piezas	±	+
Marcado de las piezas	±	+
Unión de piezas	±	+
Planchado	±	+
Inspección	+	+
Almacenado de artículos terminados	+	+
Distribución	+	+

La producción de moldes puede hacerse con la ayuda de computadora (CAD) guardando esa información para trabajos futuros. Con la ayuda de un "plotter" los moldes pueden imprimirse en *papel*, al tamaño requerido y con una distribución óptima que minimice el desperdicio de tela. De esta forma el desperdicio puede bajar hasta un 3 %. Este ahorro acumulado a lo largo del tiempo, dependiendo del volumen de producción de la empresa, puede justificar la compra de un "plotter"

La tela debe extenderse en una mesa (ver Fig. 11.1), en capas superpuestas hasta alcanzar unos 7 cm de alto. Generalmente las bobinas o rollos de tela vienen envueltos con film de polietileno. Luego de quitar este envoltorio, la tela debe dejarse extendida sobre la mesa el tiempo suficiente para que alcance un *equilibrio con la atmósfera del taller* (generalmente 12 horas son suficientes, p.ej. desde el fin de una jornada de trabajo hasta el comienzo de la siguiente). Sobre todas las capas se dispone el papel con el dibujo de la distribución de piezas correspondientes a los diferentes moldes diseñados. Los bordes de las capas de tela superpuestas deben coincidir lo mejor posible antes de proceder al corte. Se debe también poner especial cuidado en que los hilos de urdimbre queden orientados en la dirección deseada.

El corte se hace con máquinas eléctricas, de cuchillas circulares o verticales, según el caso (ver Figuras 11.1 y 11.2). La máquina de corte en general se guía manualmente siguiendo el contorno del dibujo de la pieza y la operaria debe proteger la mano de apoyo con un guante de malla metálica. Existen también máquinas de corte automático tanto mecánicas como con rayo *láser*. Si bien representan una inversión inicial muy alta, son 5 a 10 veces más eficientes que el corte manual y, si el volumen de producción lo justifica, se pueden amortizar rápidamente.

Luego de cortadas las piezas deben ser *marcadas* para su fácil identificación en las operaciones siguientes. El marcado con etiquetas de códigos de barra, que luego son controlados por cabezas lectoras, es una forma eficiente de realizar este trabajo.

A pesar de que en algunos casos se utilizan adhesivos especiales, la *costura* sigue siendo la forma preferida de unir las diferentes piezas de la prenda entre sí. La principal ventaja de coser con hilo es la flexibilidad que se logra en la prenda, lo que no siempre ocurre cuando se unen las piezas con otros procedimientos. Las máquinas de coser aparecieron a comienzo del siglo XX y produjeron grandes cambios a nivel del trabajo familiar y artesanal (ver Figura 11.3). Las actuales máquinas industriales son capaces de insertar hasta 10.000 puntos por minuto y las

agujas se calientan tanto que deben ser enfriadas con aire para evitar que el hilo se quemé o se funda. Los hilos para utilizar en esas máquinas de altas velocidades son preferentemente hilos de *multifilamento de poliéster* por su mayor resistencia a la tracción, aunque los hay de diversos tipos (ver ref.bibl. N° 4). La costura entre las partes puede estar disimulada o visible según el diseño de la prenda. Existen diferentes tipos de puntadas de costura y en las Figuras 11.5, 11.6 y 11.7 se muestran algunas de las más conocidas. La experiencia y la habilidad del operario es aún fundamental para lograr una alta calidad en el producto final. Esto es debido principalmente a la cantidad de manipulaciones que hay que hacer en la operación de costura y también, a la gran variedad de tipos de puntadas que a veces se deben emplear en una misma prenda. Es muy importante la resistencia a la abrasión del hilo y la costura tanto en el uso como en el lavado.

El *planchado* final es en la mayoría de los casos una operación imprescindible. Según el tipo de prenda, en la industria esta operación se realiza con planchones a vapor o vaporizándola luego de colocarla bien ajustada en maniqués inflables.

Finalmente se debe señalar que las operaciones de *control* y *distribución* de las prendas son de gran importancia para el éxito final de todo el esfuerzo productivo. El *control* debe realizarse preferentemente no solo en cada etapa de la producción sino también, en lo posible, sobre cada una de las prendas antes de ser distribuidas, para evitar costosas reclamaciones. La *distribución* de las prendas terminadas es la operación que más incide en el costo final, como se muestra en la Tabla 11.2. Los costos de todo el proceso productivo y de distribución del producto final pueden reducirse apreciablemente implementando sistemas de *gestión de calidad*, de *mejora continua* y de *logística* en la empresa.

TABLA 11.2
COSTOS TOTALES DE PONER UNA PRENDA EN EL MERCADO

<i>ITEM</i>	<i>% DEL COSTO TOTAL</i>
FIBRAS	5
PRODUCCION DEL HILADO	5
PRODUCCION DE LA TELA	10
CONFECCION DE LAS PRENDAS	30
DISTRIBUCION DE LAS PRENDAS	50
TOTAL	100

BIBLIOGRAFIA

- 1- "The Technology of Clothing Manufacture", H.C.Carr, B.Latham, Blackwell Science Oxford, U.K., 1994
- 2- "Introduction to Clothing Manufacture", G. Cooklin, Blackwell Science Oxford, U.K., 1991
- 3- "Material Mangement in Clothing Production", D.J.Tyler, Blackwell Science Oxford, U.K., 1991
- 4- "Tecnología de Hilos y Costuras", J.&P Coats Ltd., 155 St. Vincent Street, Glasgow G2 5PA, Scotland.



Figura 11.1 – Máquina de corte circular



Figura 11.2 – Máquina de corte vertical

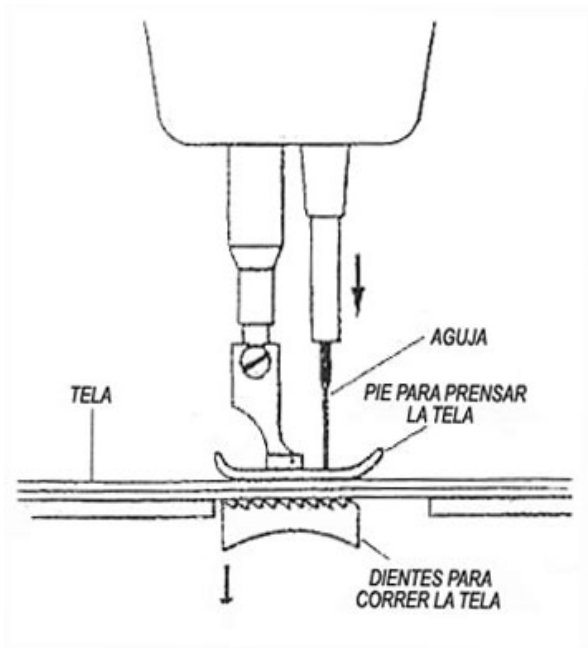


Figura 11.3 – Máquina de coser



Figura 11.4 – Máquina de bordar

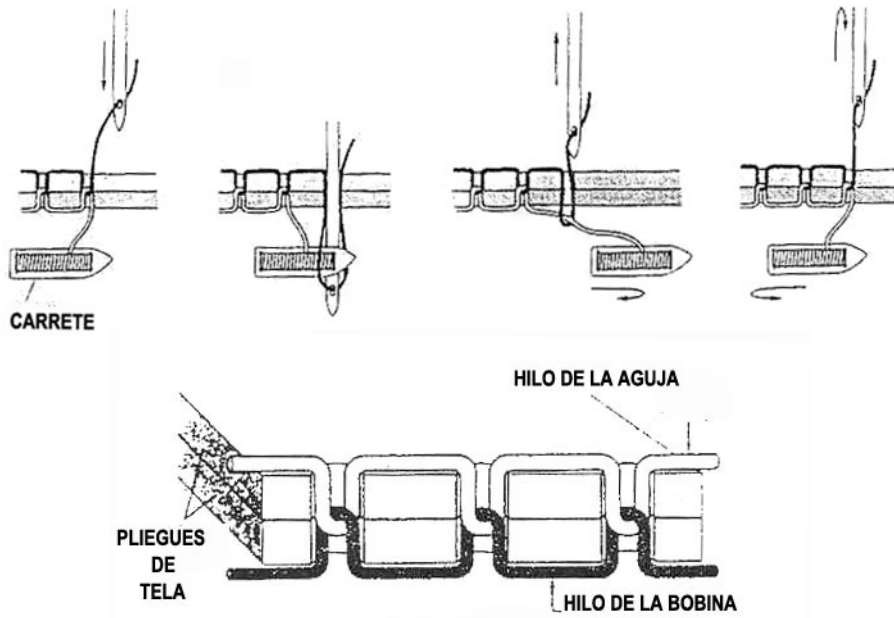


Figura 11.5 - PESPUNTE

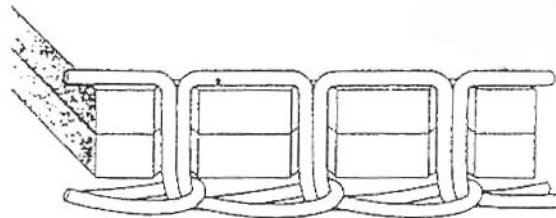


Figura 11.6 - PUNTO CADENETA

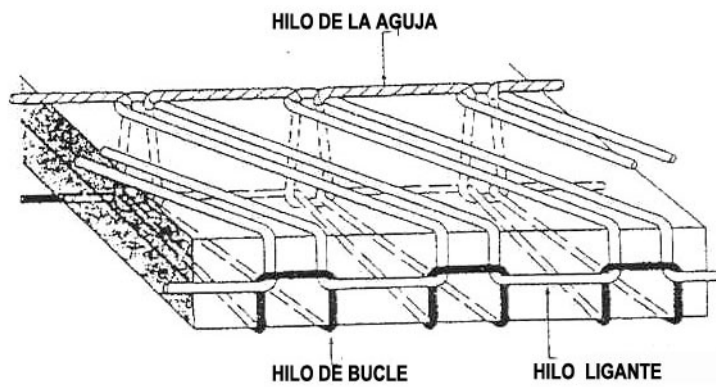
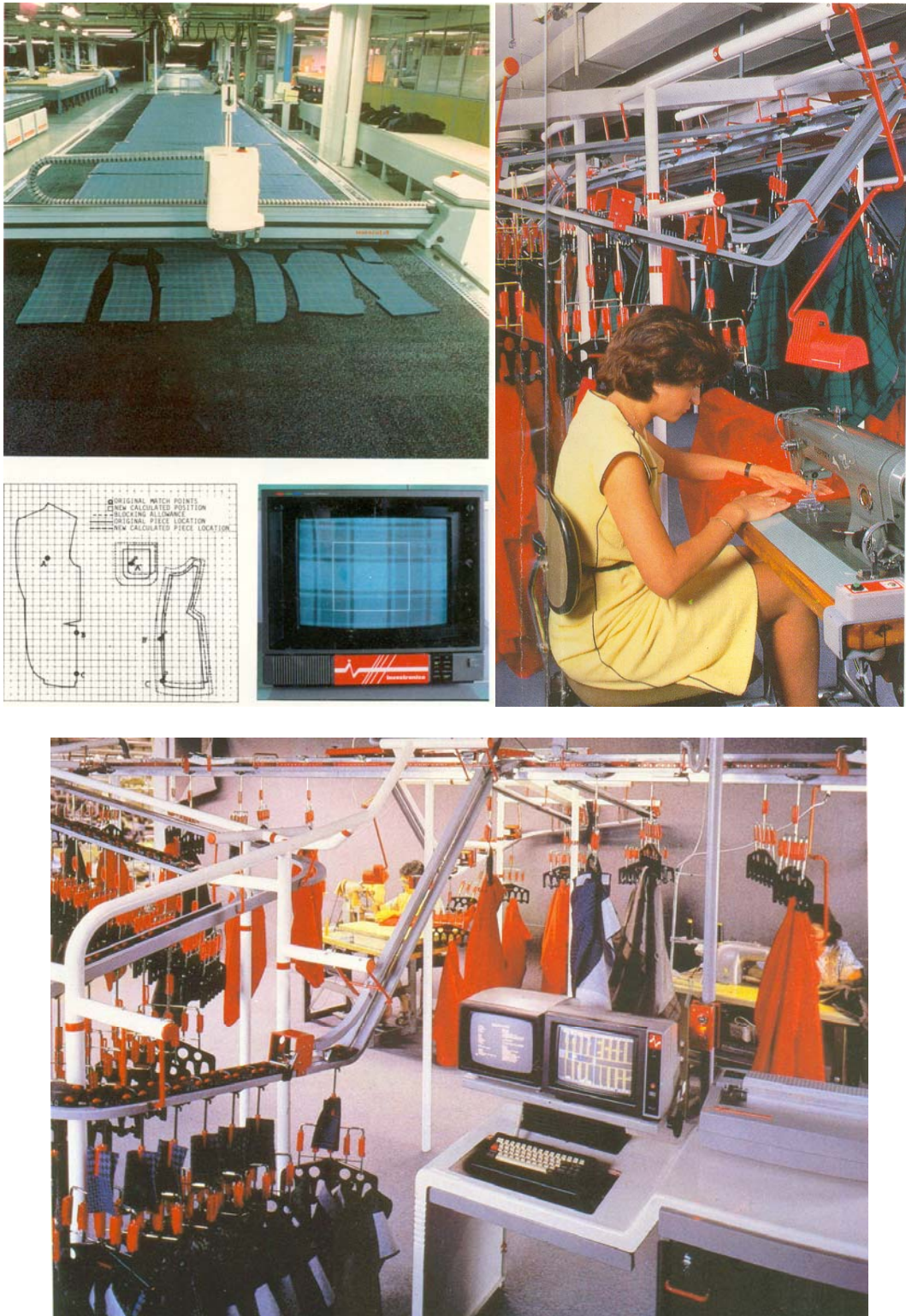


Figura 11.7 - COSTURA "OVERLOCK"



Figuras 11.8 a 11.12

Moderno taller de confección de prendas con máquina para corte de piezas, con "plotter" para minimizar el desperdicio, procesamiento de imagen para el control de la alineación de la tela, estación de costura y rieles para el traslado de piezas y prendas en proceso.

2.0.0- LAS ENTRETELAS

Las entretelas se utilizan para: 1) **soportar** la tela exterior de una prenda, 2) **modificar** la "caída" de la prenda y, 3) **mantener** la forma de la prenda. Así p. ej. se colocan entretelas en los hombros, pecheras y solapas de las chaquetas y tapados, en los cuellos y puños de las camisas, etc. (ver Figuras 11.13, 11.14 y 11.15). Las entretelas quedan, en general, ocultas bajo la tela exterior, pero es muy importante seleccionarlas correctamente para evitar luego problemas durante el uso, lavado o limpieza en seco de la prenda.

Las entretelas se han empleado desde la Antigüedad con la finalidad de aumentar el volumen de las prendas y hacer más importante el aspecto físico de quien las usaba, acentuando así su jerarquía social o militar. Las entretelas se hacían con telas baratas, utilizando como relleno pelo, fibras, cuero, etc. Se les daba forma adecuada al lugar de la prenda donde serían colocadas, cosiéndolas por debajo de la tela principal.

Hacia 1930 aparecen las primeras entretelas hechas de algodón conteniendo cierta cantidad de filamentos de acetato de celulosa en la urdimbre. Estas entretelas se utilizaron con bastante éxito en cuellos y puños de camisas, hasta aproximadamente 1960. Se trataban con un poco de solvente, para ablandar el acetato de celulosa, se les colocaba del lado de abajo de la tela principal, se les hilvanaba y se aplicaba calor con una plancha.

Hacia 1955 comienzan aparecer entretelas **termofusibles** que consisten de una **tela base** recubierta de una **resina termofusible**. Con el desarrollo de nuevos polímeros sintéticos y mejores métodos de aplicación, el uso de estas entretelas se ha generalizado.

Las **telas base** de las entretelas termofusibles son, en su mayoría, telas "no tejidas" o guatas (ver Cap. 6, Secc. 4) y el resto, aproximadamente un 30% del total, tejidos planos o de punto. Las **resinas o polímeros termofusibles** vienen aplicadas sobre una de las caras de la tela base, generalmente como polvo distribuido regularmente en zonas o en puntos. Estas resinas son de diferentes tipo (*poliamidas, poliésteres, poliolefinicas, PVC*) según el uso final a que esté destinada la entretela. Las entretelas termofusibles **se cortan**, con la forma que corresponda a la parte de la prenda donde se colocarán, y **se pegan con presión y calor**. La operación de pegado puede ser continua o discontinua (ver Figuras 11.16 a 11.18) pero la **temperatura**, la **presión** y el **tiempo** en que esta se realice, deben ser cuidadosamente establecidos por el fabricante de la entretela y controlados cuidadosamente por el usuario. La entretela deben quedar bien unida a la tela principal y el aspecto final de esta debe ser terso, sin frunces ni arrugas (ver Figura 11.19).

La selección de una entretela para una determinada aplicación no es fácil y debe hacerse con mucho cuidado. Una elección equivocada pueda arruinar toda una partida de prendas y provocar una gran pérdida de dinero a la empresa. Se debe tener en cuenta el tipo de tela principal que se utilizará y si la prenda será lavada frecuentemente con agua fría o caliente o sometida a limpieza en seco. También es muy importante prever cuales serán las temperaturas de planchado y como quedará afectada la flexibilidad, la mano, la "caída", etc. (ver Figura 11.20). Las firmas proveedoras deben suministrar muestras e información técnica detallada sobre las propiedades y el procedimiento de aplicación de sus productos.

BIBLIOGRAFIA

- 1- "Fusing Technology", Gerry Cooklin, The Textile Institute, 10 Blackfriars Street, Manchester M3 5DR, UK.
- 2- "Interlinings", Peter Judd, Textiles 1991, Issue N°3.

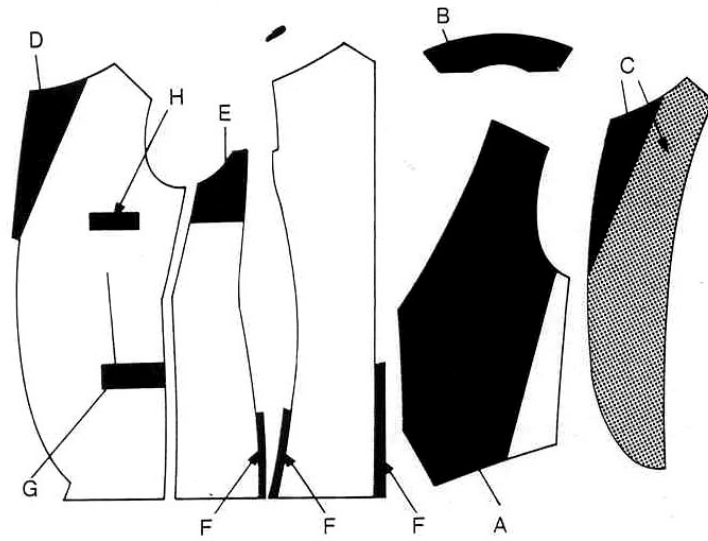


Figura 11.13– Entretelas para: delantera de chaqueta (A), cuellos (B), solapas (C) y (D), sisas (E), bordes (F), tapa de bolsillo (G), borde de bolsillo (H). Ref. Bibliog. N°2

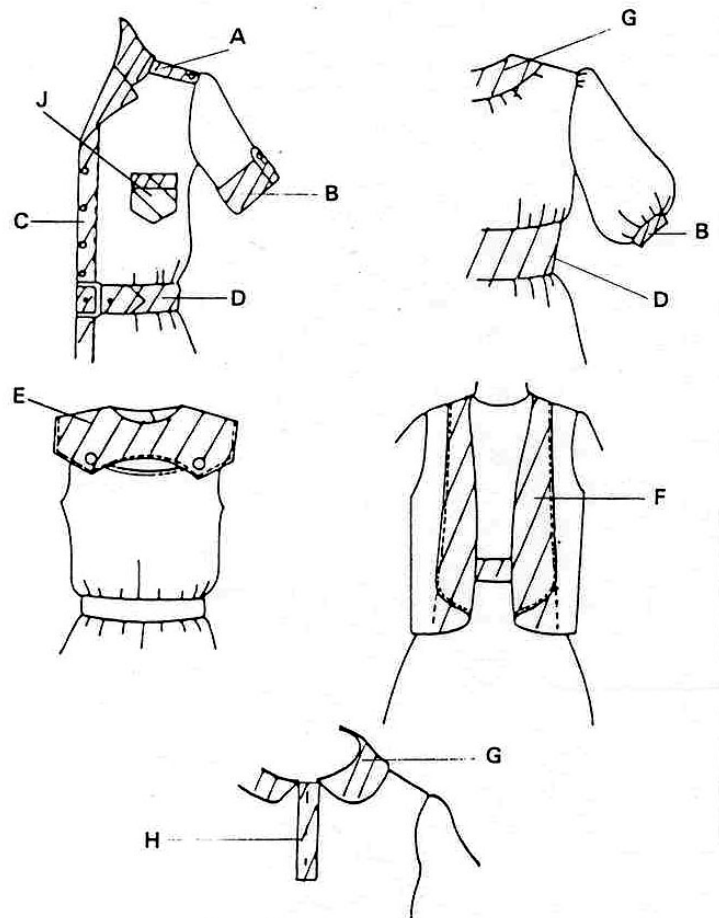


Figura 11.14 – Entretelas para: hombreras (A), mangas (B), borde con botones (C), cintura (D), cuellos (E), (G) y (H), solapas (F), bolsillos (J). Ref. Bibliog. N°2

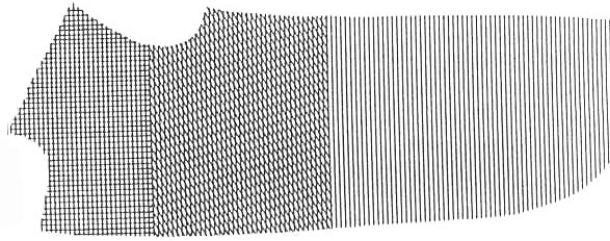


Figura 11.15 – Diferentes tipos de entretelas para diferentes zonas de la prenda.
Ref. Bibliog. N°1

- PARA LOGRAR UN BUEN FUSIONADO DEBE CONTROLARSE LA HUMEDAD AMBIENTE .
- LA DIMENSIÓN DE LAS TELAS DE LANA DEBE HABER SIDO PREVIAMENTE FIJADA (por decatizado, potting, crabbing, etc.)

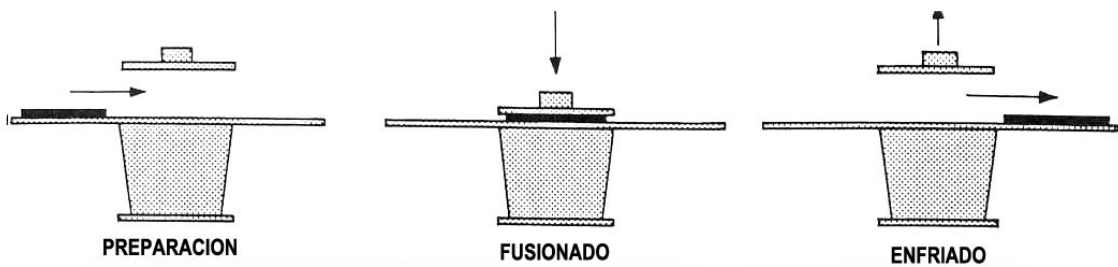


Figura 11.16 – Mesa para termofusionado discontinuo de entretelas. Ref. Bibliog. N°1

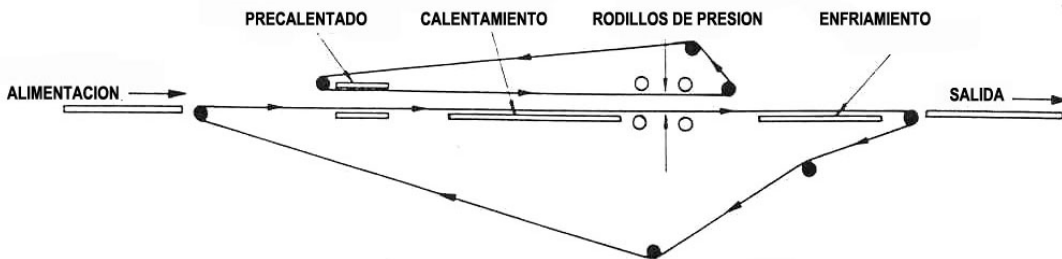
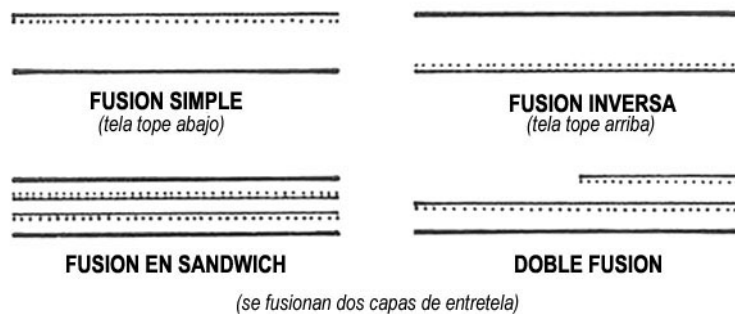


Figura 11.17 – Mesa para el termofusionado continuo de entretelas. Ref. Bibliog. N°1



Granulos de resina adhesiva Tela base de la entretela Tela tope o principal

Figura 11.18 – Diferentes maneras de fusionar las entretelas. Ref. Bibliog. N°1

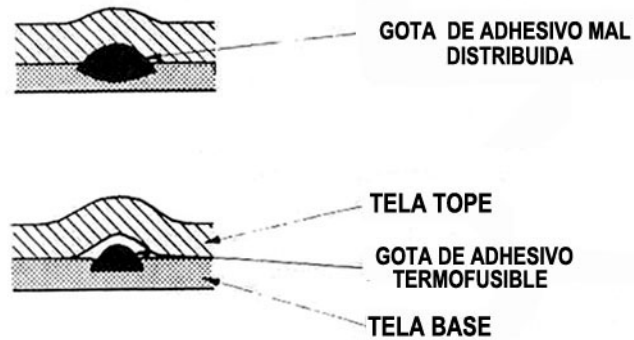


Figura 11.19 – Problemas de distribución del adhesivo que se pueden presentar en el termofusionado de entretelas. Ref. Bibliog. N°1

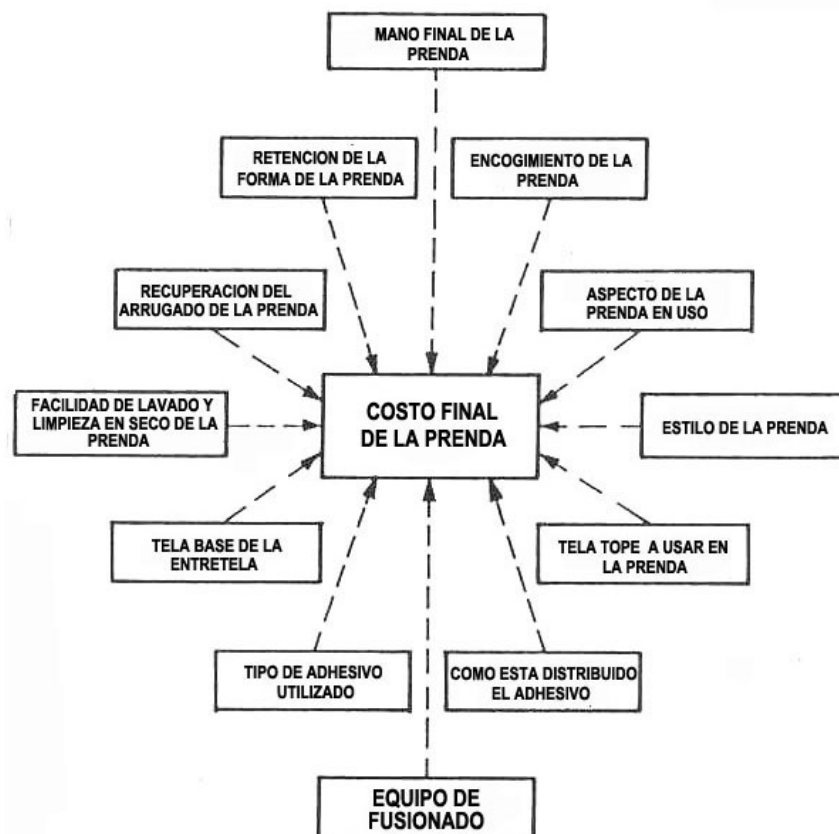


Figura 11.20 – Aspectos a tener en cuenta al seleccionar una entretela. Ref. Bibliog. N°1

3.0.0- EL "CONFORT" DE LAS PRENDAS TEXTILES

El "confort" de una *prenda*, es decir la sensación de comodidad y bienestar que produce en quien la usa, depende de un conjunto de elementos y de las interacciones entre ellos. Los más importantes serían: **1)** el diseño de la prenda (*forma, tamaño y ajuste al cuerpo*), **2)** la actividad física del usuario (*ejercicio, sueño o reposo*). **3)** las propiedades de la o las telas con que está confeccionada la prenda y, **4)** las condiciones ambientales (*temperatura, humedad relativa y velocidad del aire en ambientes interiores o exteriores*).

La piel que recubre el cuerpo humano, en condiciones normales, tiene aproximadamente una temperatura de unos 36,5 a 37,0 °C y, permanentemente libera calor y vapor de agua. Las condiciones ambientales son muy variables y pueden corresponder a: **a) ambientes interiores** (*acondicionados, ventilados o no, etc.*) y, **b) ambientes exteriores** (*con frío, calor, viento, lluvia, nieve, o soleados o nubosos, húmedos o secos, etc.*). También son muchas las posibles variaciones constructivas de telas y prendas sumado al hecho de que, muchas veces, vestimos varias prendas unas sobre otras. A pesar de que todas estas variables dan lugar a sistemas muy complejos, en la *Figura 11.21*, hemos esquematizado uno de los más sencillos.

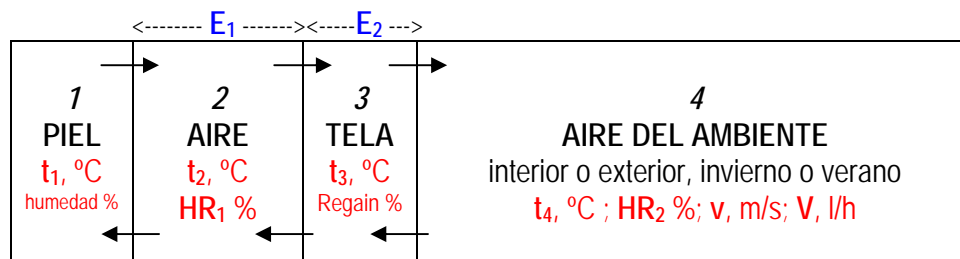


Figura 11.21 – Esquema del sistema "piel / prenda / ambiente"

t : temperatura, HR : humedad relativa, v : velocidad lineal y V : flujo volumétrico del AIRE.

→ Sentido de flujos ←

Si una prenda ajusta bien sobre el cuerpo, la capa de aire de espesor E_1 será delgada y prácticamente estática. También en la tela, de espesor E_2 , el aire atrapado dentro de ella tampoco se moverá. El calor por tanto se transmitirá prácticamente sólo por **conducción** y las moléculas de vapor de agua se moverán solo por difusión pura. Si en cambio, se lleva una prenda holgada y el aire próximo a la piel se mueve libremente (*como p.ej. cuando se usa una camisa veraniega*), las condiciones de transferencia de masa y calor serán muy distintas.

Si la persona ha hecho ejercicio físico o la temperatura ambiente es muy alta, la piel libera además de vapor de agua, una solución salina, conocida como transpiración o sudor. Si la persona viste una prenda, p.ej., de algodón ajustada al cuerpo, esta absorberá el sudor y el usuario la sentirá entonces mojada. Luego, al irse evaporando el sudor, sobre todo si la temperatura ambiente desciende bruscamente, sufrirá un enfriamiento. Ambas condiciones son incómodas y la segunda puede tener consecuencias perjudiciales para la salud. Para evitar esto, algunos artículos se hacen de telas de tres capas. La primera capa, que va contra la piel, es hidrófoba (*p.ej. de polipropileno*) que al no retener la humedad permite que ésta pase hacia la capa siguiente. Esta segunda capa consiste, en general, de materiales muy absorbentes (*celulosas tratadas, poliacrílicos, etc.*) que retienen la humedad. La tercera capa, o capa externa, puede ser totalmente impermeable para evitar que la humedad salga - como en el caso de los pañales - o muy permeable para facilitar su salida, como en el caso de las prendas deportivas. De esta manera el usuario percibirá a la prenda seca y confortable.

Podemos decir que las propiedades de las telas que más influyen en el confort de una prenda, son: **a)** la elasticidad, **b)** la suavidad, **c)** la capacidad de absorción de agua líquida y de vapor de

agua, **d)** la liberación exotérmica de calor al absorber agua (*ver Cap. 2, Secciones 4.2.0, 4.3.0, 4.4.0*), **e)** la permeabilidad para intercambiar aire y vapor de agua, **f)** la conductividad térmica, **g)** la capacidad de generar cargas estáticas. Naturalmente, estas propiedades de las telas dependen a su vez de las propiedades de los hilados con las que fueron tejidas y de las fibras que se utilizaron para elaborar esos hilados. En la Tabla 11.3 tratamos de resumir ese complejo sistema de interrelaciones.

TABLA 11.3
PROPIEDADES DE LAS TELAS

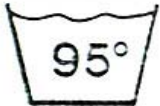












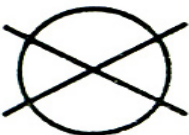
PROPIEDAD	DEPENDE de:
Elasticidad	-Tipo de fibra, cantidad de torsiones del hilado, tipo de ligamento, estructura y espesor de la tela, etc.
Suavidad	-Cantidad e intensidad de torsiones insertadas en el hilado. -Naturaleza y finura de las fibras que componen el hilado.
Absorción de agua líquida	-Naturaleza de las fibras -Estructura de la tela (facilidad de retener agua por capilaridad) -Tipos de acabados o revestimientos sobre la tela
Absorción de vapor de agua	-Naturaleza de las fibras -Tipos de acabados o revestimientos sobre la tela
Intercambio de aire y vapor de agua	-Tipo de ligamento y estructura de la tela -Espesor de la tela
Conductividad térmica	-Naturaleza de las fibras -Aire retenido dentro de la tela (tipo de ligamento y estructura de la tela, voluminosidad de los hilados) -Voluminosidad de los hilados (dependerá de la cantidad e intensidad de la torsión aplicada, de si los hilados son rizados o texturizados, fibras con o sin rizo) -Movimiento del aire a través de la tela -Espesor y contenido de humedad de la tela
Generación de carga estática	-Naturaleza de las fibras -Contenido de humedad de la tela
Peso	-Título de los hilados - Cuenta o hilos por cm ²

No debemos olvidar que los tratamientos químicos que se realicen sobre la tela - para conferirle propiedades especiales, como impermeabilidad, resistencia a las arrugas, resistencia al fuego, etc. - modificarán también las propiedades enumeradas en la primer columna de la Tabla 11.3 y por tanto, la "mano" y la "caída". Esos cambios se traducirán finalmente en cambios en el "confort" de la prenda.

El **micro encapsulamiento** de productos químicos (*medicamentos, cosméticos, etc.*) dentro de los textiles, está abriendo una enorme gama de nuevas posibilidades para el "confort" de las prendas. El uso de **nanotecnologías** (*p.ej. en la aplicación de recubrimientos*) traerá también importantes e interesantes avances en el tema. La incorporación de microprocesadores dentro de las prendas, para crear "*textiles inteligentes*", es otro de los importantes avances que se vislumbran.

4.0.0- EL CUIDADO DE LAS PRENDAS TEXTILES

En 1956, en la conferencia internacional "Fabric Quality and Informative Labelling" celebrada en Göteborg, Suecia, se reconoció la necesidad de crear una simbología de fácil interpretación para el cuidado de los artículos y las prendas textiles. Estos símbolos son cuatro, uno para cada uno de los siguientes tratamientos: *lavado*, *tratamientos con hipoclorito*, *planchado* y *limpieza en seco*. Estos símbolos deben colocarse, uno a continuación de otro, en una etiqueta cosida al artículo textil. En la tabla siguiente se indica la manera de utilizar estos símbolos.

	PRECAUCIONES	NINGUNA	ALGUNAS	ESPECIAL	PROHIBIDO
LAVADO					
	TEMP. MÁXIMA DE LAVADO 95° C	TEMP. MÁXIMA DE LAVADO 60° C	TEMP. MÁXIMA DE LAVADO 30° C ó 40° C (según el artículo)	NO LAVAR	
TRATAMIENTOS CON HIPOCLORITO					
	PUEDE USARSE HIPOCLORITO			NO PUEDE USARSE HIPOCLORITO	
PLANCHADO					
	TEMP. MÁXIMA DE PLANCHADO 200 ° C ± 10 ° C	TEMP. MÁXIMA DE PLANCHADO 150 ° C ± 2 ° C	TEMP. MÁXIMA DE PLANCHADO 115 ° C ± 2 ° C	NO USAR PLANCHA	
LAVADO EN SECO					
	TODO TIPO DE SOLVENTES (incl. tricloroetileno)	TODO TIPO DE SOLVENTES (incl. el Percloroetileno)	SOLO SOLVENTES MINERALES (p.ej Aguarrrás, Hexano, etc.)	NO LAVAR EN SECO	

BIBLIOGRAFIA

- 1- *Publicación de los trabajos presentados al XVII Congreso de la FLAQT (Federación Latinoamericana de Químicos Textiles, San Pablo, Brasil, Agosto de 2004.*
- 2- *"Textiles de Alta Tecnología", National Geographic (en español), Enero, 2003*

5.0.0- LA GESTIÓN TOTAL DE LA CALIDAD

Actualmente la *gestión total de la calidad* es una herramienta imprescindible para que las empresas y las organizaciones de todo tipo sean competitivas, cualquiera sea la actividad que realicen¹.

¿CÓMO DEFINIRÍAMOS LA CALIDAD?

"Conjunto de *propiedades y características* de un *producto* o *servicio* que le confieren a este *aptitud para satisfacer las expectativas*, expresas o implícitas, del *consumidor* de esos productos o servicios".

DISTINTOS TIPOS DE CALIDAD:

- * CALIDAD DE LOS ARTÍCULOS PRODUCIDOS
- * CALIDAD DE LOS SERVICIOS SUMINISTRADOS
p. ej. salud, enseñanza, comunicaciones, transporte, etc.
- * CALIDAD DE GESTIÓN EN LAS EMPRESAS
- * CALIDAD DE LAS PERSONAS

ALCANZAR LA CALIDAD REQUIERE ESFUERZO

La calidad nunca se alcanza por casualidad: es siempre el resultado de un esfuerzo inteligente.
"Las cosas buenas ocurren solo si son planeadas. Las malas ocurren solas".
La calidad la construye la gente.

No se logra calidad por simple incorporación de nuevas tecnologías. La gestión de la calidad puede considerarse como una tecnología "*blanda*" tan importante como las tecnologías "*duras*", representadas estas por máquinas y procesos.

CALIDAD PARCIAL NO ES CALIDAD

Pues se debe cumplir con todos los aspectos de la calidad, a saber:

CALIDAD DE DISEÑO:

Concordancia o conformidad entre el diseño y las expectativas del cliente

CALIDAD DE REALIZACIÓN:

Concordancia o conformidad entre el diseño y las características de los artículo o servicios producidos

CALIDAD DE DESEMPEÑO:

La aptitud del producto o servicio para cumplir con la función requerida por el consumidor

¹ Esto es especialmente aplicable a toda la industria textil y, especialmente, a la de la confección.

5.1.0- EVOLUCIÓN HISTÓRICA RESUMIDA DEL CONCEPTO DE CALIDAD

En cierto modo el concepto de calidad está implícito en la evolución biológica, representado por los mecanismos de selección natural que permiten que los organismos vivos alcancen una mejor adaptación al medio ambiente. Veamos, en forma muy general, como ha evolucionado históricamente en lo que tiene que ver con los procesos productivos humanos:

PALEOLÍTICO. Los grupos humanos se relacionaban con el ambiente a través de una actividad cazadora y recolectora. Se elaboraban herramientas muy elementales como piedras talladas para corte y raspado, puntas de lanzas y flechas, etc., produciéndose un artículo por vez, que finalmente era inspeccionado y seleccionado. El diseño debía contribuir a la eficiencia del objeto. El productor era a la vez su propio consumidor: el mismo fabricaba, controlaba y usaba. Se trataba de una "*auto-factura*".

NEOLÍTICO. Aparecen gran cantidad de nuevas técnicas y actividades (*agricultor, hilandero, tejedor, alfarero, herrero, etc.*). Se sigue haciendo un artículo por vez pero hay *división y especialización del trabajo*. La producción es artesanal con capacitación de padres a hijos. Se produce no tanto para el individuo sino para el grupo.

EDAD MEDIA y RENACIMIENTO. Continúa la modalidad de producción artesanal pero hay mayor grado de división del trabajo. Se produce en talleres, templos y corporaciones ("*guildas*") y aumenta el comercio entre regiones. Se trata de productos únicos en los que el diseño tiene gran importancia. Estos artículos deben satisfacer primero al artesano y después al usuario.

REVOLUCIÓN INDUSTRIAL. Alrededor de 1750 en Inglaterra aparece el *Sistema de Producción Fabril*. Se desarrolla la máquina de vapor, el industrialismo y el maquinismo. Se producen artículos en serie y se *prioriza más la cantidad producida que el diseño*. El consumo de combustibles fósiles aumenta rápidamente, primero el *carbón* y, casi un siglo después, el *petróleo*. Hay especialización de funciones con actividades de intermediación. *El productor se aleja mucho del consumidor*. Aumenta la población mundial y la contaminación del medio ambiente. Hay un gran crecimiento de la población de las ciudades y el hacinamiento urbano y las pésimas condiciones laborales generan conflictividad social. Como reacción a las consecuencias negativas de la Revolución Industrial surgen las organizaciones obreras y los movimientos socialistas. Alrededor de 1880 surgirá también el movimiento "Art and Craft" (*William Morris*) que reivindica la importancia del diseño en la producción de los artículos industriales.

PRINCIPIOS DEL SIGLO XX. Se desarrolla la *industria automotriz*. Henry Ford produce gran cantidad de automóviles a precios bajos y con *diseño único*. Es una *producción en masa y de calidad uniforme*. El consumidor no tenía opciones. Se busca aumentar la productividad y la producción sin emplear más mano de obra. Los supervisores y capataces pasan a ser más importantes. Las tareas especializadas son centralizadas y realizadas por expertos. *Se separa la planeación de la ejecución*. Se busca la estandarización de las tareas tratando de dividir las en partes sencillas y que puedan ser repetitivas (*división de tareas, "taylorismo"*). Se pierde la identificación del trabajador con el producto final y con el usuario, cosa que *no* ocurría con la producción artesanal y de las corporaciones.

Hasta aquí podemos decir que en todas estas etapas históricas, la calidad implicaba la *inspección final directa sobre todos los productos terminados*. Pero alrededor de 1926 en la Cía. Telefónica Graham Bell se comienzan a utilizar *métodos de control estadístico* del proceso productivo, controlándose *no todos* los artículos producidos sino solo *muestras representativas* (ver *Walter Shewart y las gráficas de control estadístico*).

2da. GUERRA MUNDIAL, 1939-1945. Durante la guerra era fundamental asegurar la eficacia de la producción armamentista y, en gran medida, el costo pasa a un segundo plano. Se afirma la *inspección por muestreo* y la prevención de defectos por *control estadístico*. Se generaliza el uso de *gráficos de control estadístico*. En lugar de inspeccionar para separar los productos no aceptables, se comienza a tomar acciones correctivas sobre las causas que generan los defectos no aceptables.

POSTGUERRA, 1945-1950. Inmediatamente de terminada la guerra se produce una gran *escasez* de artículos. El mercado pasa a ser dominado por la *oferta*. Todo lo que se hace se vende. La *calidad* queda relegada a un segundo plano. Sin embargo, en *Japón* es muy fuerte el deseo de recuperación económica y para lograrla se trata de unir a la *empresa*, al *gobierno* y a la *universidad* en una *triple hélice de desarrollo*. Aparece entonces el concepto de *Administración o Gestión de la Calidad*. Las enseñanzas de los profesores americanos *Deming* y *Juran* - que visitan frecuentemente Japón y dan numerosas conferencias dirigidas a gerentes e ingenieros vinculados a la producción - así como también las contribuciones de los japoneses *Ishikawa*, *Shigeo Shingo*, etc. comienzan a dar resultado.

Deming propone su famoso *círculo virtuoso*: PLANEAR, HACER, VERIFICAR, CORREGIR (ver 5.2.0 y Figura 11.24) para que las empresas y las organizaciones en general, puedan beneficiarse de un proceso de *mejora continua*. Para esto se deben establecer *garantías* o *aseguramientos* que eviten que el proceso de mejora continua retroceda. Los *manuales*, las *normas*, las *especificaciones* y los *procedimientos escritos* son, p.ej. herramientas para el *aseguramiento de la calidad*. Los obreros, capacitados permanentemente, participan en los *círculos de calidad*, donde se discuten y proponen cambios en las operaciones y en los procesos de producción. Se trata de investigar las fallas y defectos provocados por la organización y no tanto buscar culpables entre los funcionarios. Se debe reconocer y en lo posible premiar, a aquellos funcionarios que aporten sugerencias que lleven a cambios positivos. Los *círculos de calidad* están en las antípodas del Taylorismo, pues Taylor consideraba que el operario solo debía cumplir órdenes.

Como consecuencia de estas nuevas concepciones se produce en el Japón un gran desarrollo de la industria automotriz y electrónica y empresas como *TOYOTA*, *SONY*, etc. pasan a ser líderes mundiales en sus especialidades. Estas industrias producen artículos caros, integrados por gran cantidad de piezas, *3000, 5000 ó más*, que deben cumplir con estrictas especificaciones de dimensión, peso, etc. para que el ensamblaje sea perfecto y los repuestos sean intercambiables en cualquier parte del mundo. Si el producto final presenta una falla, resulta muy costoso repararlo o enviar a descarte todo el artículo. Es por tanto mucho más conveniente no hacer *controles finales* sino controlar *cada etapa* de la producción y detectar las fallas y defectos antes. Cada sección pasa a ser proveedora de la sección siguiente y cliente de la que la antecede, de acuerdo al diagrama de flujos del proceso productivo. En la *gestión total de la calidad* entonces, *la calidad más que controlada debe ser "causada"*.

Paulatinamente, en la segunda mitad del siglo XX, *el consumo pasa a controlar el mercado y la demanda supera y controla a la oferta*. El consumidor pasa a mandar y exigir calidad. Los *estudios de mercado* se hacen muy importantes pues es necesario saber si el producto proyectado cumplirá con las *expectativas del consumidor* (A. Feigenbaum). El lograr la *satisfacción del cliente* así como atender la diversidad de sus gustos (*lo contrario al Taylorismo y la producción en masa*) constituyen ahora, metas principales. La organización debe también generar empleos atractivos para atraer personal competente y capacitado. El control de la calidad se extiende entonces más allá del ámbito de la organización: hacia adelante para saber la opinión del cliente y hacia atrás para asegurar la calidad de los proveedores. La importancia de la gestión de la calidad crece y se afirma con la *globalización* del mercado mundial. Se

comienza a comprobar que *los costos de la no-calidad* son siempre mayores a los costos necesarios para implementar y mantener una gestión de calidad. El concepto de calidad pasa a ser dinámico, cambia con el tiempo (*Figura 11.23*). Lo que hasta ayer era de calidad puede no serlo hoy y lo que hoy es de calidad puede no serlo mañana. Por *gestión total de la calidad* se debe entender entonces, una gestión que abarque todas las funciones de la organización y *no* que pretenda la "*calidad total*". La "*calidad total*" es seguramente una meta inalcanzable. En cambio, la "*gestión total*" de la calidad es algo posible, si se hace el esfuerzo necesario.

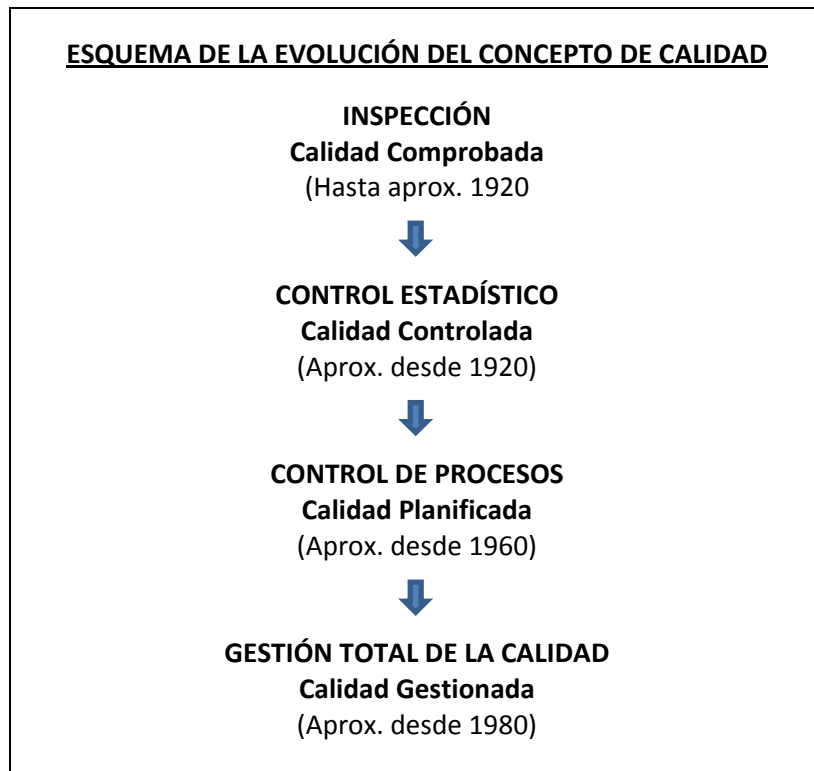


Figura 11.22



Figura 11.23

5.2.0- EL CÍRCULO DE DEMMING

El "ciclo o círculo de Deming" (por Edwards Deming), es una estrategia para la mejora continua de la calidad basada en un concepto ideado por Walter A. Shewhart. También se denomina espiral de mejora continua. Consta de cuatro pasos: *Planificar, Hacer, Verificar y Actuar*. Estos pasos o etapas se comentan a continuación.

PLANIFICAR:

Identificar el *proceso* que se quiere mejorar. Recopilar datos para profundizar en el conocimiento del proceso. Análisis e interpretación de los datos. *Establecer los objetivos* de mejora. Detallar las *especificaciones* de los resultados esperados. Definir los *procesos* necesarios para conseguir estos objetivos, verificando las especificaciones.

HACER:

Ejecutar los procesos definidos en el paso anterior. Documentar las acciones realizadas.

VERIFICAR

Pasado un periodo de tiempo previsto de antemano, volver a recopilar datos de control y analizarlos, comparándolos con los objetivos y especificaciones iniciales, para evaluar si se ha producido la mejora esperada. Documentar las conclusiones.

ACTUAR o CORREGIR

Modificar los procesos según las conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos con las especificaciones iniciales, si fuese necesario. Aplicar nuevas mejoras, si se han detectado errores en el paso anterior. Documentar el proceso. *Asegurar la calidad* es una de las maneras de *actuar*.

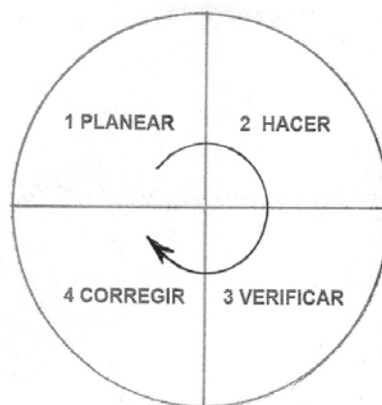


Figura 11.24

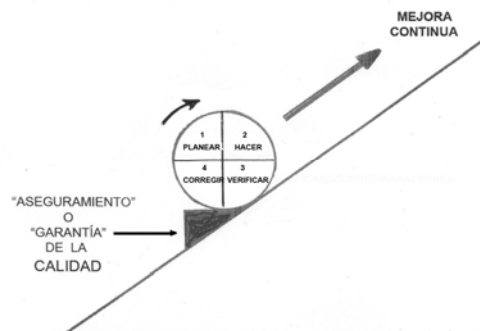


Figura 11.25

Como resultado de la aplicación del círculo de *Demming* la empresa podrá entrar en un proceso de MEJORA CONTINUA. Si pretendemos que el círculo siempre esté girando y siempre subiendo por un plano inclinado hacia estados de calidad más alta, también se deberá tratar de que no haya retrocesos. En ese modelo, eso se lograría colocando una "*cuña*" detrás evitando así un giro inverso y descendente del círculo (*Figura 11.25*). En gran medida esa cuña estaría constituida, p.ej. por los *sistemas de aseguramiento de la calidad* como las *Normas ISO 9000*, que van de la 9001 a la 9004. Las ISO 9001 abarcan todas las etapas productivas (*diseño, desarrollo, producción, instalación y respaldo al usuario*); las ISO 9002 son solo para las etapas de realización e instalación; las ISO 9003 son aplicables solo durante la inspección y ensayos finales y las ISO 9004 son aplicables a los sistema de calidad dentro de la organización.

5.3.0- EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

Aseguramiento o "garantización" de la calidad son entonces todas aquellas acciones planificadas y sistemáticas necesarias para proporcionar *la confianza* adecuada de que un producto o servicio satisface los requisitos de calidad establecidos. El aseguramiento puede ser *interno* para dar confianza a la *gerencia* de la organización o *externo* para dar confianza al *cliente*. Este aseguramiento debe contar entonces con *auditorías* internas y externas periódicas.

El MANUAL DE CALIDAD debe incluir *normas, especificaciones y procedimientos de tareas por escrito*. Las NORMAS deben elaborarse *por acuerdo entre los productores, los clientes y en general, también con los organismos gubernamentales* (p.ej. para cumplir con requerimientos de salud pública y de protección al medio ambiente). Las ESPECIFICACIONES, en cambio, pueden ser establecidas *solo por la empresa compradora* para exigir que los proveedores suministren de conformidad con esas especificaciones. Los PROCEDIMIENTOS o PROTOCOLOS son en general instructivos internos de la empresa donde se describen, paso a paso, la manera de realizar cada una de las tareas (*en las oficinas, en las plantas productivas, en los almacenes, en los laboratorios, etc.*).

La existencia de *normas, especificaciones, procedimientos, registros y documentos escritos*, asegura a la empresa una relativa independencia de factores humanos imprevistos. Se debe reconocer entonces que *lo que no está escrito no existe* y que si no hay registros no hay *trazabilidad del producto*.

La elaboración de INDICADORES e ÍNDICES es también de fundamental importancia. Como lo decía *Philip B. Crosby*: "*Si no se puede medir no se puede gestionar. Si no se puede gestionar no se puede mejorar*".

Es también de fundamental importancia la CAPACITACIÓN PERMANENTE DEL PERSONAL de la empresa en temas de producción, seguridad, etc. *Si no hay capacitación permanente no puede haber mejora continua*.

El asesoramiento y la capacitación en temas de gestión de calidad que reciba la empresa no puede ser brindado por el mismo organismo auditor que luego CERTIFICARÁ a la empresa (p.ej. en *ISO 9000, 14000 ó 18000*). No se puede ser maestro y juez a la vez. Los ORGANISMOS CERTIFICADORES deben estar a su vez debidamente ACREDITADOS por ORGANISMOS DE ACREDITACIÓN, como por ejemplo, en el Uruguay, el *Organismo Uruguayo de Acreditación* (OUA). Para entender la diferencia entre *certificación* y *acreditación* podemos poner como ejemplo el siguiente: un médico puede *certificar* una enfermedad pero, a su vez, ese médico debe estar *acreditado* - para ejercer su profesión y certificar - por un *organismo acreditador* que es la Facultad de Medicina que le expide su título.

Una empresa u organización dispone de varias **FUNCIONES** para alcanzar sus fines: INVESTIGACIÓN, DISEÑO, PLANIFICACIÓN, COMPRAS, PRODUCCIÓN, MANTENIMIENTO, METROLOGÍA, INSPECCIÓN, ENVASADO, ALMACENADO, VENTA, DISTRIBUCIÓN, APOYO POSTVENTA, COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN, ADMINISTRACIÓN, etc. El **aseguramiento de la calidad debe aplicarse en todas las funciones del ciclo**. Como guía para ello son de gran importancia los **DIAGRAMAS DE FLUJO** y los **ORGANIGRAMAS** de la empresa.

La **PRODUCTIVIDAD** puede definirse como la relación entre los productos o resultados obtenidos y los recursos empleados para obtenerlos y por tanto, en gestión de calidad, **toda tarea que no agregue valor debe ser eliminada**. Muchas veces no es fácil determinar que tareas, directa o indirectamente, agregan o no valor al producto.

5.4.0- ALGUNOS CRITERIOS PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

- ¿Se ha establecido la Misión, Visión y Valores de la empresa u organización (*)?
- ¿Existe un organigrama de la empresa u organización?
- ¿Se establecen objetivos y se verifica el cumplimiento de los mismos?
- ¿Existen planes estratégicos?
- ¿Existe compromiso y liderazgo de la Dirección en la implantación del sistema de mejora continua?
- ¿Existen normas, especificaciones y procedimientos escritos?
- ¿Están identificados los procesos claves?
- ¿Se registran datos de producción, de inspección, almacenamiento, etc.?
- ¿Existen manuales de calidad y de procedimientos?
- ¿Se registran y evalúan los cambios tecnológicos?
- ¿Existen programas de mantenimiento (*preventivo y predictivo*) para las instalaciones, maquinaria, etc.?
- ¿Existen métodos para la trazabilidad del producto? ¿Se guardan muestras?
- ¿Se hace seguimiento del producto?
- ¿Se registran las opiniones de los clientes?
- ¿Se mide el grado de satisfacción del cliente?
- ¿Se capacita al personal? ¿Se registra la capacitación?
- ¿Hay un programa de seguridad laboral y de cuidado del medio ambiente?
- ¿Se identifican los peligros y se evalúan los riesgos?
- ¿Se establecen compromisos duraderos con los proveedores?
- ¿Existen procedimientos escritos para el seguimiento y revisión de los contratos?
- ¿Existen mecanismos de comunicación interna?
- ¿Se hacen reuniones frecuentes de todo el personal?
- ¿Se estimula el trabajo en equipo?
- ¿Existen descripciones escritas de todos los puestos de trabajo con las calificaciones requeridas?
- ¿Se identifican las mejores prácticas para compararse con ellas ("benchmarking")?

Resumiendo podemos decir que la filosofía de la calidad se basa en cinco principios esenciales:

- 1- Compromiso de todos, comenzando por la Dirección de la organización
- 2- Participación voluntaria, activa y comprometida de todos los funcionarios de la organización.
- 3- Conocimiento y aceptación por todos de la visión, la misión y los valores de la organización (*).
- 4- Organización basada en la prevención y la mejora continua.
- 5- Capacitación y mejora personal permanente de todos los integrantes de la organización.

(*) La **Misión** establece el fin, propósito o razón de ser de la empresa u organización, explicando claramente el tipo de negocio que realiza. La **Visión** describe la situación en que la empresa u organización desea verse en el futuro y sirve de referencia para todas las actividades de la empresa u organización.

5.5.0 - LAS 7 HERRAMIENTAS DEL CONTROL DE CALIDAD

- 1- Hojas de verificación de datos,
- 2- Diagrama Causa-Efecto (espina de pescado)
- 3- Histogramas,
- 4- Diagramas de Pareto,
- 5- Estratificación,
- 6- Diagramas de Dispersión,
- 7- Gráficas de Control.

Los ingenieros japoneses desarrollan también otras técnicas: "*Just-in-time*", "*Kanbari*", diseño robusto (*Genichi Tabuchi*), asignación de poder a los funcionarios ("*empowerment*"), etc.

5.6.0- ACCIONES A NIVEL NACIONAL PARA PROMOVER LA CALIDAD

- 1- ESTANDARIZACIÓN. Legislación
- 2- CAPACITACIÓN. Universidades. Asociaciones Profesionales
- 3- CERTIFICACIÓN. Laboratorios Tecnológicos (LATU, INIA)
- 4- ACREDITACIÓN. Organismo Nacional de Acreditación (OUA)
- 5- INSPECCIÓN DE EXPORTACIONES. Legislación.
- 6- ESTÍMULOS. *Premio Nacional de Calidad*
- 7- ESTRUCTURA INSTITUCIONAL. Sistema Nacional de Innovación y de Calidad

5.7.0 – ALGUNOS EJEMPLOS DEL POSIBLE USO DE LAS 7 HERRAMIENTAS DE LA CALIDAD EN LA INDUSTRIA TEXTIL

1- HOJAS DE VERIFICACIÓN DE DATOS

Fallas de costura
 Conformidad con el talle
 Manchas, desgarros, etc.
 Botones faltantes, etc.

2- DIAGRAMA CAUSA-EFECTO ("*espina de pescado*")

Causas de las manchas
 Causas de las roturas
 Causas de tintura no igualadas

3- HISTOGRAMAS

Peso de las prendas
 Grado de blanco
Dimensiones de las prendas (largo, ancho, etc.)

4- DIAGRAMAS DE PARETO

Reclamos vs. Tipo de artículo
 Beneficios vs. Tipo de artículo

5- ESTRATIFICACIÓN

Datos por Sector o Departamento
 Datos por artículo
 Datos por tipo de tela, etc.

6- DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN

Cantidad de relavados por kg cargados a las máquinas de lavar
 Cantidad de roturas vs. cantidad de suavizante agregado.
 Cantidad de roturas vs. cantidad de hipoclorito agregado
 Cantidad de prendas descosidas vs. calidad del hilo de coser

7- GRÁFICAS DE CONTROL

Control de torsiones insertadas en los hilados
 Control de regularidad en hilados
 Control de la dureza del agua en la tintorería.

5.8.7 – LOS PROCESOS DE REINGENIERÍA

Un nuevo concepto que se maneja en las organizaciones modernas es la *reingeniería*. Esta, básicamente, consiste en el rediseño rápido y radical de las políticas, estructuras y procesos de la organización, especialmente aquellos de carácter estratégico, para optimizar su productividad y competitividad.

TABLA 11.4 – DIFERENCIAS ENTRE GESTIÓN DE CALIDAD Y REINGENIERÍA

	GESTIÓN DE CALIDAD	REINGENIERÍA
Características de los cambios	graduales	radicales y rápidos
Punto de partida	situación existente	Desde cero
Implementación	de abajo arriba	De arriba a abajo
Riesgos	bajos	altos

BIBLIOGRAFIA

- 1- "Calidad Total", Teresita Villar y Marcos Paysse Alvarez, Ed. Fin de Siglo, 1994.
- 2- "La Calidad en la Buena Administración", Ing. K. Sato, Ministerio de Industria y Energía, 1992.
- 3- "Gestión de la Calidad", Angel Pola Maseda, Ed. Marcombo, 1988
- 4- "Readings in Marketing Strategy". Cook, Víctor. 2da edición. The Scientific Press.
- 5- "Reingeniería". Hammer, Michael y James Champy. Editorial Norma.1994

5.0.0- LA GESTIÓN TOTAL DE LA CALIDAD

Actualmente la *gestión total de la calidad* es una herramienta imprescindible para que las empresas y las organizaciones de todo tipo sean competitivas, cualquiera sea la actividad que realicen¹.

¿CÓMO DEFINIRÍAMOS LA CALIDAD?

"Conjunto de *propiedades y características* de un *producto* o *servicio* que le confieren a este *aptitud para satisfacer las expectativas*, expresas o implícitas, del *consumidor* de esos productos o servicios".

DISTINTOS TIPOS DE CALIDAD:

- * CALIDAD DE LOS ARTÍCULOS PRODUCIDOS
- * CALIDAD DE LOS SERVICIOS SUMINISTRADOS
p. ej. salud, enseñanza, comunicaciones, transporte, etc.
- * CALIDAD DE GESTIÓN EN LAS EMPRESAS
- * CALIDAD DE LAS PERSONAS

ALCANZAR LA CALIDAD REQUIERE ESFUERZO

La calidad nunca se alcanza por casualidad: es siempre el resultado de un esfuerzo inteligente.

"Las cosas buenas ocurren solo si son planeadas. Las malas ocurren solas".

La calidad la construye la gente.

No se logra calidad por simple incorporación de nuevas tecnologías. La gestión de la calidad puede considerarse como una tecnología *"blanda"* tan importante como las tecnologías *"duras"*, representadas estas por máquinas y procesos.

CALIDAD PARCIAL NO ES CALIDAD

Pues se debe cumplir con todos los aspectos de la calidad, a saber:

CALIDAD DE DISEÑO:

Concordancia o conformidad entre el diseño y las expectativas del cliente

CALIDAD DE REALIZACIÓN:

Concordancia o conformidad entre el diseño y las características de los artículo o servicios producidos

CALIDAD DE DESEMPEÑO:

La aptitud del producto o servicio para cumplir con la función requerida por el consumidor

¹ Esto es especialmente aplicable a toda la industria textil y, especialmente, a la de la confección.

5.1.0- EVOLUCIÓN HISTÓRICA RESUMIDA DEL CONCEPTO DE CALIDAD

En cierto modo el concepto de calidad está implícito en la evolución biológica, representado por los mecanismos de selección natural que permiten que los organismos vivos alcancen una mejor adaptación al medio ambiente. Veamos, en forma muy general, como ha evolucionado históricamente en lo que tiene que ver con los procesos productivos humanos:

PALEOLÍTICO. Los grupos humanos se relacionaban con el ambiente a través de una actividad cazadora y recolectora. Se elaboraban herramientas muy elementales como piedras talladas para corte y raspado, puntas de lanzas y flechas, etc., produciéndose un artículo por vez, que finalmente era inspeccionado y seleccionado. El diseño debía contribuir a la eficiencia del objeto. El productor era a la vez su propio consumidor: el mismo fabricaba, controlaba y usaba. Se trataba de una "*auto-factura*".

NEOLÍTICO. Aparecen gran cantidad de nuevas técnicas y actividades (*agricultor, hilandero, tejedor, alfarero, herrero, etc.*). Se sigue haciendo un artículo por vez pero hay *división y especialización del trabajo*. La producción es artesanal con capacitación de padres a hijos. Se produce no tanto para el individuo sino para el grupo.

EDAD MEDIA y RENACIMIENTO. Continúa la modalidad de producción artesanal pero hay mayor grado de división del trabajo. Se produce en talleres, templos y corporaciones ("*guildas*") y aumenta el comercio entre regiones. Se trata de productos únicos en los que el diseño tiene gran importancia. Estos artículos deben satisfacer primero al artesano y después al usuario.

REVOLUCIÓN INDUSTRIAL. Alrededor de 1750 en Inglaterra aparece el *Sistema de Producción Fabril*. Se desarrolla la máquina de vapor, el industrialismo y el maquinismo. Se producen artículos en serie y se *prioriza más la cantidad producida que el diseño*. El consumo de combustibles fósiles aumenta rápidamente, primero el *carbón* y, casi un siglo después, el *petróleo*. Hay especialización de funciones con actividades de intermediación. *El productor se aleja mucho del consumidor*. Aumenta la población mundial y la contaminación del medio ambiente. Hay un gran crecimiento de la población de las ciudades y el hacinamiento urbano y las pésimas condiciones laborales generan conflictividad social. Como reacción a las consecuencias negativas de la Revolución Industrial surgen las organizaciones obreras y los movimientos socialistas. Alrededor de 1880 surgirá también el movimiento "Art and Craft" (*William Morris*) que reivindica la importancia del diseño en la producción de los artículos industriales.

PRINCIPIOS DEL SIGLO XX. Se desarrolla la *industria automotriz*. Henry Ford produce gran cantidad de automóviles a precios bajos y con *diseño único*. Es una *producción en masa y de calidad uniforme*. El consumidor no tenía opciones. Se busca aumentar la productividad y la producción sin emplear más mano de obra. Los supervisores y capataces pasan a ser más importantes. Las tareas especializadas son centralizadas y realizadas por expertos. *Se separa la planeación de la ejecución*. Se busca la estandarización de las tareas tratando de dividir las en partes sencillas y que puedan ser repetitivas (*división de tareas, "taylorismo"*). Se pierde la identificación del trabajador con el producto final y con el usuario, cosa que *no* ocurría con la producción artesanal y de las corporaciones.

Hasta aquí podemos decir que en todas estas etapas históricas, la calidad implicaba la *inspección final directa sobre todos los productos terminados*. Pero alrededor de 1926 en la Cía. Telefónica Graham Bell se comienzan a utilizar *métodos de control estadístico* del proceso productivo, controlándose *no todos* los artículos producidos sino solo *muestras representativas* (ver *Walter Shewart y las gráficas de control estadístico*).

2da. GUERRA MUNDIAL, 1939-1945. Durante la guerra era fundamental asegurar la eficacia de la producción armamentista y, en gran medida, el costo pasa a un segundo plano. Se afirma la *inspección por muestreo* y la prevención de defectos por *control estadístico*. Se generaliza el uso de *gráficos de control estadístico*. En lugar de inspeccionar para separar los productos no aceptables, se comienza a tomar acciones correctivas sobre las causas que generan los defectos no aceptables.

POSTGUERRA, 1945-1950. Inmediatamente de terminada la guerra se produce una gran *escasez* de artículos. El mercado pasa a ser dominado por la *oferta*. Todo lo que se hace se vende. La *calidad* queda relegada a un segundo plano. Sin embargo, en *Japón* es muy fuerte el deseo de recuperación económica y para lograrla se trata de unir a la *empresa*, al *gobierno* y a la *universidad* en una *triple hélice de desarrollo*. Aparece entonces el concepto de *Administración o Gestión de la Calidad*. Las enseñanzas de los profesores americanos *Deming* y *Juran* - que visitan frecuentemente Japón y dan numerosas conferencias dirigidas a gerentes e ingenieros vinculados a la producción - así como también las contribuciones de los japoneses *Ishikawa*, *Shigeo Shingo*, etc. comienzan a dar resultado.

Deming propone su famoso *círculo virtuoso*: PLANEAR, HACER, VERIFICAR, CORREGIR (ver 5.2.0 y Figura 11.24) para que las empresas y las organizaciones en general, puedan beneficiarse de un proceso de *mejora continua*. Para esto se deben establecer *garantías* o *aseguramientos* que eviten que el proceso de mejora continua retroceda. Los *manuales*, las *normas*, las *especificaciones* y los *procedimientos escritos* son, p.ej. herramientas para el *aseguramiento de la calidad*. Los obreros, capacitados permanentemente, participan en los *círculos de calidad*, donde se discuten y proponen cambios en las operaciones y en los procesos de producción. Se trata de investigar las fallas y defectos provocados por la organización y no tanto buscar culpables entre los funcionarios. Se debe reconocer y en lo posible premiar, a aquellos funcionarios que aporten sugerencias que lleven a cambios positivos. Los *círculos de calidad* están en las antípodas del Taylorismo, pues Taylor consideraba que el operario solo debía cumplir órdenes.

Como consecuencia de estas nuevas concepciones se produce en el Japón un gran desarrollo de la industria automotriz y electrónica y empresas como *TOYOTA*, *SONY*, etc. pasan a ser líderes mundiales en sus especialidades. Estas industrias producen artículos caros, integrados por gran cantidad de piezas, *3000, 5000 ó más*, que deben cumplir con estrictas especificaciones de dimensión, peso, etc. para que el ensamblaje sea perfecto y los repuestos sean intercambiables en cualquier parte del mundo. Si el producto final presenta una falla, resulta muy costoso repararlo o enviar a descarte todo el artículo. Es por tanto mucho más conveniente no hacer *controles finales* sino controlar *cada etapa* de la producción y detectar las fallas y defectos antes. Cada sección pasa a ser proveedora de la sección siguiente y cliente de la que la antecede, de acuerdo al diagrama de flujos del proceso productivo. En la *gestión total de la calidad* entonces, *la calidad más que controlada debe ser "causada"*.

Paulatinamente, en la segunda mitad del siglo XX, *el consumo pasa a controlar el mercado y la demanda supera y controla a la oferta*. El consumidor pasa a mandar y exigir calidad. Los *estudios de mercado* se hacen muy importantes pues es necesario saber si el producto proyectado cumplirá con las *expectativas del consumidor* (A. Feigenbaum). El lograr la *satisfacción del cliente* así como atender la diversidad de sus gustos (*lo contrario al Taylorismo y la producción en masa*) constituyen ahora, metas principales. La organización debe también generar empleos atractivos para atraer personal competente y capacitado. El control de la calidad se extiende entonces más allá del ámbito de la organización: hacia adelante para saber la opinión del cliente y hacia atrás para asegurar la calidad de los proveedores. La importancia de la gestión de la calidad crece y se afirma con la *globalización* del mercado mundial. Se

comienza a comprobar que *los costos de la no-calidad* son siempre mayores a los costos necesarios para implementar y mantener una gestión de calidad. El concepto de calidad pasa a ser dinámico, cambia con el tiempo (*Figura 11.23*). Lo que hasta ayer era de calidad puede no serlo hoy y lo que hoy es de calidad puede no serlo mañana. Por *gestión total de la calidad* se debe entender entonces, una gestión que abarque todas las funciones de la organización y *no* que pretenda la "*calidad total*". La "*calidad total*" es seguramente una meta inalcanzable. En cambio, la "*gestión total*" de la calidad es algo posible, si se hace el esfuerzo necesario.

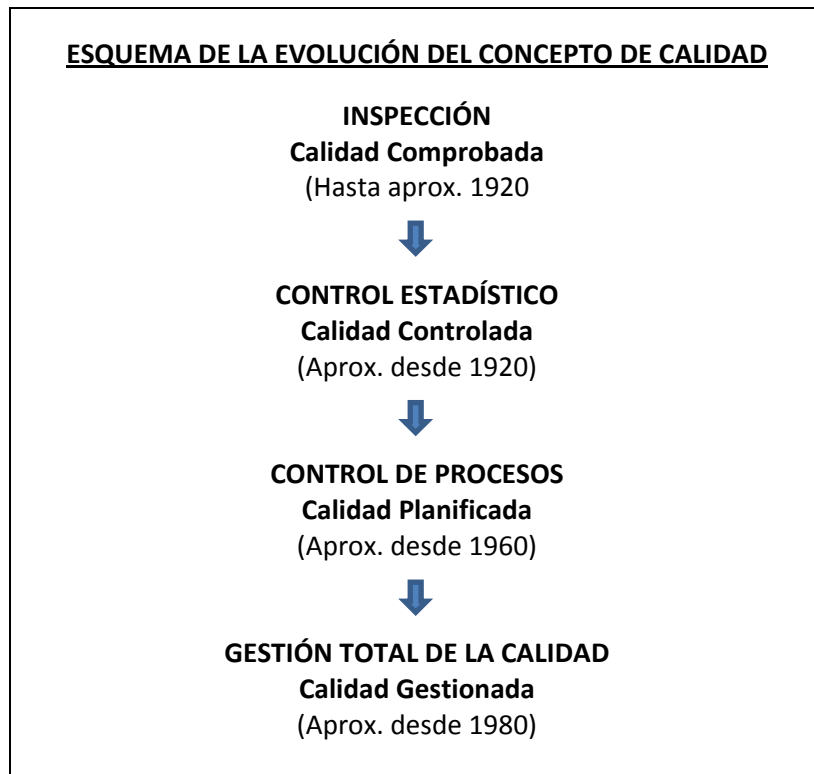


Figura 11.22



Figura 11.23

5.2.0- EL CÍRCULO DE DEMMING

El "ciclo o círculo de Deming" (por Edwards Deming), es una estrategia para la mejora continua de la calidad basada en un concepto ideado por Walter A. Shewhart. También se denomina espiral de mejora continua. Consta de cuatro pasos: *Planificar, Hacer, Verificar y Actuar*. Estos pasos o etapas se comentan a continuación.

PLANIFICAR:

Identificar el *proceso* que se quiere mejorar. Recopilar datos para profundizar en el conocimiento del proceso. Análisis e interpretación de los datos. *Establecer los objetivos* de mejora. Detallar las *especificaciones* de los resultados esperados. Definir los *procesos* necesarios para conseguir estos objetivos, verificando las especificaciones.

HACER:

Ejecutar los procesos definidos en el paso anterior. Documentar las acciones realizadas.

VERIFICAR

Pasado un periodo de tiempo previsto de antemano, volver a recopilar datos de control y analizarlos, comparándolos con los objetivos y especificaciones iniciales, para evaluar si se ha producido la mejora esperada. Documentar las conclusiones.

ACTUAR o CORREGIR

Modificar los procesos según las conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos con las especificaciones iniciales, si fuese necesario. Aplicar nuevas mejoras, si se han detectado errores en el paso anterior. Documentar el proceso. *Asegurar la calidad* es una de las maneras de *actuar*.



Figura 11.24

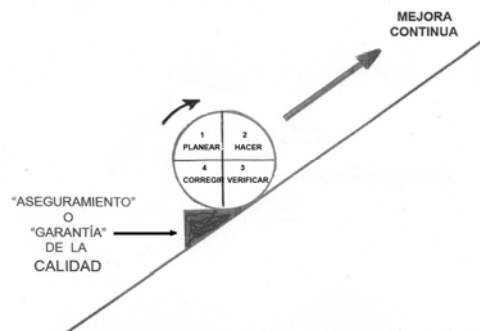


Figura 11.25

Como resultado de la aplicación del círculo de *Demming* la empresa podrá entrar en un proceso de MEJORA CONTINUA. Si pretendemos que el círculo siempre esté girando y siempre subiendo por un plano inclinado hacia estados de calidad más alta, también se deberá tratar de que no haya retrocesos. En ese modelo, eso se lograría colocando una "*cuña*" detrás evitando así un giro inverso y descendente del círculo (*Figura 11.25*). En gran medida esa cuña estaría constituida, p.ej. por los *sistemas de aseguramiento de la calidad* como las *Normas ISO 9000*, que van de la 9001 a la 9004. Las ISO 9001 abarcan todas las etapas productivas (*diseño, desarrollo, producción, instalación y respaldo al usuario*); las ISO 9002 son solo para las etapas de realización e instalación; las ISO 9003 son aplicables solo durante la inspección y ensayos finales y las ISO 9004 son aplicables a los sistema de calidad dentro de la organización.

5.3.0- EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

Aseguramiento o "garantización" de la calidad son entonces todas aquellas acciones planificadas y sistemáticas necesarias para proporcionar *la confianza* adecuada de que un producto o servicio satisface los requisitos de calidad establecidos. El aseguramiento puede ser *interno* para dar confianza a la *gerencia* de la organización o *externo* para dar confianza al *cliente*. Este aseguramiento debe contar entonces con *auditorías* internas y externas periódicas.

El MANUAL DE CALIDAD debe incluir *normas, especificaciones y procedimientos de tareas por escrito*. Las NORMAS deben elaborarse *por acuerdo entre los productores, los clientes y en general, también con los organismos gubernamentales (p.ej. para cumplir con requerimientos de salud pública y de protección al medio ambiente)*. Las ESPECIFICACIONES, en cambio, pueden ser establecidas *solo por la empresa compradora* para exigir que los proveedores suministren de conformidad con esas especificaciones. Los PROCEDIMIENTOS o PROTOCOLOS son en general instructivos internos de la empresa donde se describen, paso a paso, la manera de realizar cada una de las tareas (*en las oficinas, en las plantas productivas, en los almacenes, en los laboratorios, etc.*).

La existencia de *normas, especificaciones, procedimientos, registros y documentos escritos*, asegura a la empresa una relativa independencia de factores humanos imprevistos. Se debe reconocer entonces que *lo que no está escrito no existe* y que si no hay registros no hay *trazabilidad del producto*.

La elaboración de INDICADORES e ÍNDICES es también de fundamental importancia. Como lo decía *Philip B. Crosby*: "*Si no se puede medir no se puede gestionar. Si no se puede gestionar no se puede mejorar*".

Es también de fundamental importancia la CAPACITACIÓN PERMANENTE DEL PERSONAL de la empresa en temas de producción, seguridad, etc. *Si no hay capacitación permanente no puede haber mejora continua*.

El asesoramiento y la capacitación en temas de gestión de calidad que reciba la empresa no puede ser brindado por el mismo organismo auditor que luego CERTIFICARÁ a la empresa (p.ej. en *ISO 9000, 14000 ó 18000*). No se puede ser maestro y juez a la vez. Los ORGANISMOS CERTIFICADORES deben estar a su vez debidamente ACREDITADOS por ORGANISMOS DE ACREDITACIÓN, como por ejemplo, en el Uruguay, el *Organismo Uruguayo de Acreditación* (OUA). Para entender la diferencia entre *certificación* y *acreditación* podemos poner como ejemplo el siguiente: un médico puede *certificar* una enfermedad pero, a su vez, ese médico debe estar *acreditado* - para ejercer su profesión y certificar - por un *organismo acreditador* que es la Facultad de Medicina que le expide su título.

Una empresa u organización dispone de varias **FUNCIONES** para alcanzar sus fines: INVESTIGACIÓN, DISEÑO, PLANIFICACIÓN, COMPRAS, PRODUCCIÓN, MANTENIMIENTO, METROLOGÍA, INSPECCIÓN, ENVASADO, ALMACENADO, VENTA, DISTRIBUCIÓN, APOYO POSTVENTA, COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN, ADMINISTRACIÓN, etc. El **aseguramiento de la calidad debe aplicarse en todas las funciones del ciclo**. Como guía para ello son de gran importancia los **DIAGRAMAS DE FLUJO** y los **ORGANIGRAMAS** de la empresa.

La **PRODUCTIVIDAD** puede definirse como la relación entre los productos o resultados obtenidos y los recursos empleados para obtenerlos y por tanto, en gestión de calidad, **toda tarea que no agregue valor debe ser eliminada**. Muchas veces no es fácil determinar que tareas, directa o indirectamente, agregan o no valor al producto.

5.4.0- ALGUNOS CRITERIOS PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

- ¿Se ha establecido la Misión, Visión y Valores de la empresa u organización (*)?
- ¿Existe un organigrama de la empresa u organización?
- ¿Se establecen objetivos y se verifica el cumplimiento de los mismos?
- ¿Existen planes estratégicos?
- ¿Existe compromiso y liderazgo de la Dirección en la implantación del sistema de mejora continua?
- ¿Existen normas, especificaciones y procedimientos escritos?
- ¿Están identificados los procesos claves?
- ¿Se registran datos de producción, de inspección, almacenamiento, etc.?
- ¿Existen manuales de calidad y de procedimientos?
- ¿Se registran y evalúan los cambios tecnológicos?
- ¿Existen programas de mantenimiento (*preventivo y predictivo*) para las instalaciones, maquinaria, etc.?
- ¿Existen métodos para la trazabilidad del producto? ¿Se guardan muestras?
- ¿Se hace seguimiento del producto?
- ¿Se registran las opiniones de los clientes?
- ¿Se mide el grado de satisfacción del cliente?
- ¿Se capacita al personal? ¿Se registra la capacitación?
- ¿Hay un programa de seguridad laboral y de cuidado del medio ambiente?
- ¿Se identifican los peligros y se evalúan los riesgos?
- ¿Se establecen compromisos duraderos con los proveedores?
- ¿Existen procedimientos escritos para el seguimiento y revisión de los contratos?
- ¿Existen mecanismos de comunicación interna?
- ¿Se hacen reuniones frecuentes de todo el personal?
- ¿Se estimula el trabajo en equipo?
- ¿Existen descripciones escritas de todos los puestos de trabajo con las calificaciones requeridas?
- ¿Se identifican las mejores prácticas para compararse con ellas ("benchmarking")?

Resumiendo podemos decir que la filosofía de la calidad se basa en cinco principios esenciales:

- 1- Compromiso de todos, comenzando por la Dirección de la organización
- 2- Participación voluntaria, activa y comprometida de todos los funcionarios de la organización.
- 3- Conocimiento y aceptación por todos de la visión, la misión y los valores de la organización (*).
- 4- Organización basada en la prevención y la mejora continua.
- 5- Capacitación y mejora personal permanente de todos los integrantes de la organización.

(*) La **Misión** establece el fin, propósito o razón de ser de la empresa u organización, explicando claramente el tipo de negocio que realiza. La **Visión** describe la situación en que la empresa u organización desea verse en el futuro y sirve de referencia para todas las actividades de la empresa u organización.

5.5.0 - LAS 7 HERRAMIENTAS DEL CONTROL DE CALIDAD

- 1- Hojas de verificación de datos,
- 2- Diagrama Causa-Efecto (espina de pescado)
- 3- Histogramas,
- 4- Diagramas de Pareto,
- 5- Estratificación,
- 6- Diagramas de Dispersión,
- 7- Gráficas de Control.

Los ingenieros japoneses desarrollan también otras técnicas: "*Just-in-time*", "*Kanbari*", diseño robusto (*Genichi Tabuchi*), asignación de poder a los funcionarios ("*empowerment*"), etc.

5.6.0- ACCIONES A NIVEL NACIONAL PARA PROMOVER LA CALIDAD

- 1- ESTANDARIZACIÓN. Legislación
- 2- CAPACITACIÓN. Universidades. Asociaciones Profesionales
- 3- CERTIFICACIÓN. Laboratorios Tecnológicos (LATU, INIA)
- 4- ACREDITACIÓN. Organismo Nacional de Acreditación (OUA)
- 5- INSPECCIÓN DE EXPORTACIONES. Legislación.
- 6- ESTÍMULOS. *Premio Nacional de Calidad*
- 7- ESTRUCTURA INSTITUCIONAL. Sistema Nacional de Innovación y de Calidad

5.7.0 – ALGUNOS EJEMPLOS DEL POSIBLE USO DE LAS 7 HERRAMIENTAS DE LA CALIDAD EN LA INDUSTRIA TEXTIL

1- HOJAS DE VERIFICACIÓN DE DATOS

Fallas de costura
 Conformidad con el talle
 Manchas, desgarros, etc.
 Botones faltantes, etc.

2- DIAGRAMA CAUSA-EFECTO ("*espina de pescado*")

Causas de las manchas
 Causas de las roturas
 Causas de tintura no igualadas

3- HISTOGRAMAS

Peso de las prendas
 Grado de blanco
Dimensiones de las prendas (largo, ancho, etc.)

4- DIAGRAMAS DE PARETO

Reclamos vs. Tipo de artículo
 Beneficios vs. Tipo de artículo

5- ESTRATIFICACIÓN

Datos por Sector o Departamento
 Datos por artículo
 Datos por tipo de tela, etc.

6- DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN

Cantidad de relavados por kg cargados a las máquinas de lavar
 Cantidad de roturas vs. cantidad de suavizante agregado.
 Cantidad de roturas vs. cantidad de hipoclorito agregado
 Cantidad de prendas descosidas vs. calidad del hilo de coser

7- GRÁFICAS DE CONTROL

Control de torsiones insertadas en los hilados
 Control de regularidad en hilados
 Control de la dureza del agua en la tintorería.

5.8.7 – LOS PROCESOS DE REINGENIERÍA

Un nuevo concepto que se maneja en las organizaciones modernas es la *reingeniería*. Esta, básicamente, consiste en el rediseño rápido y radical de las políticas, estructuras y procesos de la organización, especialmente aquellos de carácter estratégico, para optimizar su productividad y competitividad.

TABLA 11.4 – DIFERENCIAS ENTRE GESTIÓN DE CALIDAD Y REINGENIERÍA

	GESTIÓN DE CALIDAD	REINGENIERÍA
Características de los cambios	graduales	radicales y rápidos
Punto de partida	situación existente	Desde cero
Implementación	de abajo arriba	De arriba a abajo
Riesgos	bajos	altos

BIBLIOGRAFIA

- 1- "Calidad Total", Teresita Villar y Marcos Paysse Alvarez, Ed. Fin de Siglo, 1994.
- 2- "La Calidad en la Buena Administración", Ing. K. Sato, Ministerio de Industria y Energía, 1992.
- 3- "Gestión de la Calidad", Angel Pola Maseda, Ed. Marcombo, 1988
- 4- "Readings in Marketing Strategy". Cook, Víctor. 2da edición. The Scientific Press.
- 5- "Reingeniería". Hammer, Michael y James Champy. Editorial Norma.1994

CAPITULO XII

EL IMPACTO AMBIENTAL RESULTANTE DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS



CONTENIDO	PÁGINA
1.0.0- La Actividad Humana y el Medio Ambiente.....	3
2.0.0- Los Contaminantes Químicos.....	6
3.0.0- Las Emisiones a la Atmósfera.....	7
4.0.0- El Impacto Ambiental de la Industria Textil.....	9

1.0.0- LA ACTIVIDAD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE

Las **formas de relacionamiento con el medio ambiente** que las sociedades humanas mantienen desde sus orígenes, se pueden ubicar en **tres etapas** claramente diferenciadas.

La primera etapa coincide con el **Paleolítico** donde los grupos humanos obtienen la energía necesaria para su subsistencia, de la caza, la pesca y la recolección de frutos, semillas, etc. Esta etapa se caracteriza por el comportamiento **nómada** de esos grupos humanos, que deben desplazarse para desarrollar sus actividad cazadora, y por el bajo rendimiento energético obtenido (ver *Tabla 12.1*) y por un cierto equilibrio entre la actividad del hombre y el medio ambiente.

La segunda etapa coincide con el **Neolítico**, donde aparece un cambio fundamental: los grupos humanos se hacen **sedentarios** y aprenden a domesticar plantas y animales. La energía obtenida del medio ambiente a partir de esta **Revolución Agrícola** es ya mayor, se pueden almacenar los excedentes de ciertas cosechas (*cereales p.ej.*) y se inicia un desarrollo vertiginoso de técnicas que cambian radicalmente la vida del Hombre. El medio ambiente cercano a los asentamientos humanos es modificado pero estos cambios son localizados y no afectan mayormente a los ciclos biológicos.

La tercera etapa, la **Revolución Industrial**, se inicia en Europa, en la segunda mitad del siglo XVIII. En esta etapa, aún vigente, se producen cambios mucho más radicales en el relacionamiento humano con el medio ambiente. Alguno de esos cambios más importantes son:

1) La aparición de un nuevo modo de producción: el **sistema de producción fabril**. Este sistema de producción se caracteriza, entre otras cosas (ver *Tablas 12.2 y 12.3*), por utilizar abundante mano de obra - la que desarrolla sus tareas en un mismo sitio, la "fábrica" – y emplear también las máquinas de vapor recientemente inventadas, máquinas que utilizan la energía química resultante de la combustión del carbón. Pero el **sistema de producción fabril** es, más que nada, el resultado de la gran **acumulación de capital** que, desde el siglo XVI, se produce en Europa con la llegada del oro y la plata extraídos de las colonias hispanoamericanas. Para el surgimiento del **sistema de producción fabril** existen también muchas otras causas, como las religiosas y culturales, con p.ej. la aparición del Protestantismo, la invención de la imprenta, etc., que no corresponde analizar acá.

2) El sistema de producción fabril produce un **aumento de la utilización de los combustibles fósiles (carbón primero y petróleo luego)** que se utilizarán para la generación de vapor, con el que se distribuye energía térmica en la fábrica y se ponen en movimiento todo tipo de máquinas. La producción de vapor y el desarrollo del motor a explosión darán como resultado la emisión de cantidades crecientes de **dióxido de carbono** y otros **gases tóxicos** a la atmósfera. La actividad industrial generará además **desechos sólidos, efluentes líquidos** y diversos **contaminantes químicos**.

3) El **aumento acelerado de la población mundial**, que se produce primero en Europa pero luego también en todo el mundo, es especialmente notable en las **ciudades**, lo que genera grandes problemas de hacinamiento y la producción de grandes volúmenes de desechos y aguas servidas. A partir de la Revolución Industrial el aumento de la población mundial ha tomado proporciones alarmantes: la población mundial era 500 millones en el año 1500, 1.600 millones en 1900, 3.000 millones en 1950 y, en el año 2005 es de 6.500 millones. En los últimos 50 años la población mundial se duplicó, a una tasa de crecimiento del 2,1 % anual, un caso único en toda la historia de la Humanidad con enormes implicancias económicas, sociales y culturales. Si bien esta tasa de crecimiento ha comenzado a disminuir (*actualmente estaría en 1,2%*), las estimaciones más moderadas consideran que en el año 2050 la población mundial

alcanzará los 9.000 millones de personas y que para entonces, la Humanidad se verá enfrentada a muy graves problemas (ref.5)

4) La **deforestación**, la **erosión** y la **desertificación** de extensas áreas del planeta, como consecuencia del aumento de población, también avanza en forma incontenible no solo para utilizar madera para quemar y para fines constructivos, sino también en gran medida para satisfacer una demanda creciente de **papel** y de tierras aptas para la **agricultura**. El aumento de la actividad del hombre está también produciendo una creciente escasez de **recursos hídricos** y la **extinción de gran cantidad de especies de plantas y animales**. El aumento de la actividad pesquera esta agotando la cantidad de peces y otras especies marinas.

Estos son solo algunos de los cambios importantes que se originan con la aparición de la **Revolución Industrial**. Estos cambios inician un desequilibrio gradual y creciente del medio ambiente, que no tiene miras de detenerse sino que por el contrario se acentúa y agrava cada vez más. La Humanidad tiene entonces por delante un muy serio desafío, si quiere evitar una posible catástrofe ecológica a escala planetaria en un futuro no muy lejano. Para colmo de males, los combustibles fósiles que son ahora imprescindibles para el funcionamiento de la estructura productiva de todas las sociedades modernas, son cada vez más escasos y, seguramente se llegará a un punto en que no se podrá satisfacer con ellos la demanda gigantesca de un mundo lleno de asimetrías económicas y sociales. De alguna forma será necesario obtener entonces, a corto plazo, fuentes energéticas alternativas, renovables, abundantes y baratas, que permitan un desarrollo autosustentable y equilibrado.

TABLA 12.1- ETAPAS DE LA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

PERÍODO HISTÓRICO	AÑOS ANTES DEL PRESENTE (aprox.)	RELACIÓN PREDOMINANTE DE LOS GRUPOS HUMANOS CON EL MEDIO AMBIENTE	POTENCIA DISPONIBLE	MATERIALES DISPONIBLES PARA LA ELABORACIÓN DE VESTIMENTA
Paleolítico	2.5 x 10 ⁶	NÓMADE Recolectores y cazadores	MUY BAJA 0.1 Kw (ser humano)	pieles de los animales cazados
Neolítico	1.0-1.5 x 10 ³	SEDENTARIA con predominio rural. Productores de alimentos. Domesticación de plantas y animales	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Antigüedad	3.0 x 10 ³	ídem	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Edad Media	1 x 10 ³	ídem	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Renacimiento	0.6-0.7 x 10 ³	ídem	BAJA 0.1-1.0 Kw (animales domésticos)	fibras naturales: algodón, lino, lana, seda
Edad Moderna	0.25 x 10 ³	SEDENTARIA con predominio urbano. Sistema de producción fabril. Gran utilización de combustibles fósiles	ALTA 10 ⁶ Kw ó más (máquinas)	Fibras naturales, artificiales y sintéticas

TABLA 12.2
CARACTERÍSTICAS DEL "SISTEMA DE PRODUCCIÓN FABRIL" QUE APARECE EN EUROPA A FINES DEL SIGLO 18 Y COMIENZOS DEL 19 (*)

1-USO DE MÁQUINAS
2-PRODUCCIÓN EN MASA.
3-MAYOR PRODUCTIVIDAD (mayor velocidad y economía en la producción).
4-CONCENTRACIÓN DE LAS FUERZAS DE TRABAJO BAJO UN MISMO TECHO.
5-UTILIZACIÓN DE ENERGÍA DISTRIBUIDA DESDE UNA O MÁS FUENTES CENTRALES.
6-DIVISIÓN ORGANIZADA DEL TRABAJO.
7- SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE TODO LOS PROCESOS PRODUCTIVOS.
8-UTILIZACIÓN DE CAPITAL ACUMULADO.

(*) En la Inglaterra del siglo 18 la actividad textil, especialmente la algodonera, es la primera en adoptar el "Sistema de Producción Fabril". Este sistema adquiere tal importancia y extensión que da lugar al inicio de una nueva etapa para la Humanidad. A este período histórico se le conoce con el nombre de "Revolución Industrial".

TABLA 12.3
LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

1- SISTEMA DE PRODUCCIÓN PRE-INDUSTRIAL (hasta 1750, aproximadamente)
<p>PRODUCCIÓN RURAL: Artesanal y familiar en máquinas chicas (ruedas y telares). Las familias campesinas hilan y tejen lino y lana.</p> <p>PRODUCCIÓN URBANA: Talleres de tejido, batanado, teñido, etc., organizados en corporaciones.</p>
2- SISTEMA DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL (de 1750, aproximadamente, en adelante)
<p>PRODUCCIÓN RURAL: Aparecen pequeñas unidades productoras. Se ubican a la orilla de ríos y arroyos para utilizar la energía hidráulica de éstos.</p> <p>PRODUCCIÓN URBANA: A partir aproximadamente de 1800, aumenta el número de empresas que utilizan las primeras máquinas de vapor y el "Sistema de Producción Fabril" se consolida con carácter netamente urbano. El algodón, importado de Oriente primero y luego también de América, se convierte en la fibra predominante.</p>

2.0.0- LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS

Quizás el primer registro sobre riesgos de intoxicación química datan de hace unos 2000 años cuando **Plinio** observó una alta mortalidad entre los mineros de mercurio. Esos riesgos han ido en aumento con el desarrollo tecnológico de la Humanidad.

Hace tres decenios, **Rachel Carson**, en su libro “Primavera Silenciosa”, dio la primera voz de alarma sobre los daños que pueden ocasionar el mal uso de los plaguicidas al medio ambiente. Varios siglos antes el gran médico musulmán **Al-Asuli** clasificaba a todas las dolencias humanas en dos categorías: “enfermedades de pobres” y “enfermedades de ricos”. Hoy día, seguramente, tendría que agregar una nueva categoría: las enfermedades causadas por los contaminantes químicos presentes en el medio ambiente, aunque también son, en general, las personas de condición socioeconómica baja las que están más expuestas a riesgos de intoxicación química (*peones agrícolas, poblaciones marginales vecinas a zonas industriales, grupos humanos que viven de la caza y la pesca, etc.*). En Canadá, p.ej., se detectaron contaminantes agroquímicos en poblaciones indígenas ubicadas a 1500 km de las tierras agrícolas en que aquellos productos habían sido usados. “Saber” es el arma más efectiva para combatir las enfermedades producidas por los productos químicos. Los fabricantes de estos productos tienen la obligación de informar adecuadamente sobre sus propiedades peligrosas. Actualmente existe un *Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos (RIPQPT)*”

CONTAMINANTES QUÍMICOS ¿DÓNDE ?

AIRE

Emissiones al aire de gases, vapores, humo y polvo resultantes de las actividades de la INDUSTRIA, la MINERIA, el TRANSPORTE AUTOMOTOR, el uso de combustibles para CALEFACCIÓN de viviendas, etc.

AGUA

Contaminación de acuíferos, arroyos, ríos y lagunas como resultado de: 1) el uso de fertilizantes y pesticidas en las actividades agrícolas, 2) los efluentes líquidos y los desechos sólidos provenientes de la actividad industrial y de las concentraciones urbanas.

ALIMENTOS NATURALES

Contaminación con plaguicidas y otros productos químicos de las plantas, peces, aves y mamíferos que luego son consumidos por el hombre.

ALIMENTOS PROCESADOS

Contaminación de las raciones de alimentación animal con productos químicos, plaguicidas, productos veterinarios, metales, etc. que pasan a la carne de pollo, cerdo, vaca, etc. que luego son consumidas por el hombre.

AMBIENTES DE TRABAJO Y HOGARES

Sustancias químicas en las fábricas, talleres, laboratorios, almacenes, comercios, viviendas, etc. que afectan al ser humano por contacto con la piel, por inhalación o por ingestión.

3.0.0- LAS EMISIONES A LA ATMÓSFERA

La acumulación en la atmósfera de **dióxido de carbono (CO₂)** resultante de la combustión de carbón y petróleo así como madera y otras materias orgánicas, es el principal responsable del “**efecto invernadero**”, o aumento de la temperatura de la superficie terrestre y de las capas bajas atmósfera. Esto es debido a que el dióxido de carbono, si bien permite el pasaje de radiación solar, impide la salida de parte de la fracción de energía reflejada por la superficie terrestre, lo que da como resultado un aumento de la temperatura global.

Se estima que en 1750, aproximadamente al inicio de la Revolución Industrial, la concentración de **dióxido de carbono** en la atmósfera era de 280 ppm mientras que actualmente es de 350 ppm., como resultado de emitirse unos 5000 millones de toneladas al año. Se estima que en 1860 se emitían unos 93 millones y que en el 2030 se emitirán alrededor de 10.000 millones. La deforestación agrava el problema, al disminuir la función clorofiliana y la fijación de carbono.

Otros gases que producen **efecto invernadero**, además del dióxido de carbono, son: **1) los clorofluorocarbonos (CFC)** (que también afectan la **capa de ozono** de la atmósfera), **2) el óxido de nitrógeno (NO)** proveniente de la creciente utilización de fertilizantes sintéticos y, **3) el metano (CH₄)** proveniente de la actividad de microorganismos que descomponen la materia orgánica (especialmente procesos biológicos que se producen en los campos inundados de los arrozales) y del tracto digestivo de los rumiantes (especialmente de los vacunos). La emisión de metano, según algunos investigadores, se ha duplicado en los últimos 350 años.

Se estima que algunas **consecuencias del efecto invernadero** serán: **1)** el aumento del nivel del mar por fusión parcial de los hielos polares con daños para puertos y ciudades costeras; **2)** aumento de la cantidad e intensidad de los huracanes; **3)** modificación de los regímenes de lluvia y del clima en general, con perjuicios para la agricultura y otras actividades del hombre; **4)** modificaciones de los ciclos biológicos, con aumento de algunas plagas que afectarán la agricultura, producirán la extinción de especies de plantas y animales y la disminución de la calidad de algunos alimentos, etc.

El **ozono** presente en las capas altas de la atmósfera impide el pasaje de gran parte de la fracción ultravioleta de la radiación solar. En 1985 se descubrió que la acumulación de **clorofluorocarbonos (CFC)** en las capas altas de la atmósfera destruía el ozono y permitía por tanto un aumento del pasaje de la fracción ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Este aumento de radiación ultravioleta resultante de este “**agujero de ozono**”, como se ha dado en llamar a este fenómeno, produce un aumento de la incidencia de cáncer de piel, afecta la función fotosintética y el metabolismo de las plantas y microorganismos marinos, y genera grandes pérdidas económicas por deterioro o degradación de plásticos, pinturas y otros materiales. Los **clorofluorocarbonos (CFC)** utilizados hasta hace muy poco, como gases de refrigeración y propelentes de aerosoles están siendo sustituidos por otros productos que no destruyen el ozono. Sin embargo se estima que la recuperación del nivel normal de ozono en la atmósfera no se recuperará hasta dentro de varias décadas. Muchos otros productos químicos halogenados, como p. ej. el **bromuro de metilo** utilizado como fumigante de suelos, también atacan la capa de ozono de la atmósfera.

Por otra parte, la actividad industrial produce también una serie de **gases tóxicos** que, si bien no son responsables de crear efecto invernadero o afectar la capa de ozono, inciden negativamente sobre el medio ambiente. Entre los más importantes se encuentran el **anhídrido sulfuroso (SO₂)** y el **óxido nítrico (NO₂)**, producidos principalmente en las centrales térmicas y en los hornos incineradores de todo tipo. Estos gases arrastrados por la lluvia producen la llamada

“**lluvia ácida**” que daña los bosques aumentando la deforestación, acidificando los suelos facilitando la lixiviación de nutrientes con daños para la producción agrícola. Afecta también la vida acuática ya que a pH por debajo de 5,4 se alteran procesos de reproducción biológica. En la actividad industrial la emisión de estos gases tóxicos se debe reducir al máximo con la instalación de equipos industriales de lavado de gases, vapores y humos.

Otros gases nocivos dignos de mención son: 1) el **monóxido de carbono (CO)**, resultante de la combustión incompleta o ineficiente que puede producirse en los equipos quemadores de todo tipo; 2) el **tetraetilo de plomo**, utilizado como antidetonante en los combustibles de motores a explosión (*y liberado en los gases de escape*) y que se está sustituyendo por compuestos más inocuos y 3) las **dioxinas y furanos** (*hidrocarburos aromáticos clorados*) que son muy tóxicos y pueden resultar de la combustión de desechos y residuos de sustancias plásticas. Debe también considerarse la emisión de *partículas de polvo* a la atmósfera como resultado de la actividad industrial y del intenso tránsito vehicular especialmente en ciudades muy congestionadas.

ALGUNOS EVENTOS DE GRAN IMPORTANCIA

1972 – En Estocolmo, Suecia tuvo lugar la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. En ella los temas referentes a la seguridad química ocuparon un lugar preferente.

1973 - Bajo la guía de la OMS se inician programas de “Pronta Alarma y Prevención”

1974 - Flixborough, Inglaterra. Explosión de planta de Ciclohexano.

1976 - Seveso, Italia. Escape de Dioxina (TCDD) de una planta industrial. Gran mortandad de animales.

1979 - Canadá. Descarrilamiento de tren con escape de cloro líquido. Evacuación de 216.000 personas.

1980 - Programa Internacional de Seguridad de Sustancias Químicas (IPCS), OMS, FAO, OIT, PNUMA, OMS para evaluar los riesgos de las sustancias químicas sobre la salud humana y el medio ambiente, sentando las bases científicas para la elaboración de medidas de seguridad. Hasta ahora se evaluaron más de 1200 productos agroquímicos, plaguicidas, fármacos, etc. como posibles contaminantes del aire, agua y alimentos.

1981 - “Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos.” Es un programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, RIPQPT). La forma más eficaz de combatir las enfermedades e intoxicaciones provocadas por las sustancias químicas es saber y estar informado sobre ellas y sus riesgos.

1984 - México, D.F. Explosión de gas de petróleo licuado. 500 muertos, 5000 heridos.

1984 - Bhopal, India. Fuga de *isocianato de metilo* de planta de plaguicidas de Union Carbide. 2500 muertos. Lesiones y ceguera en más de 200.000 personas.

1985 - Chernobyl, Ucrania. Explosión de reactor de planta nuclear. Muertos, lesionados, evacuados.

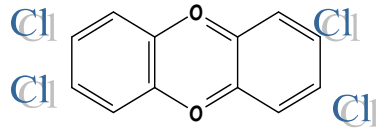
1988 – Caso del carguero “Karin B” que intenta descargar en varios puertos los desechos peligrosos que una empresa italiana había intentado descargar ilegalmente en Nigeria.

1990 - El nivel de exportaciones de sustancias tóxicas para su reciclaje alcanza los 40 millones de toneladas.

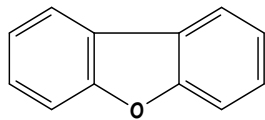
1992 - Guadalajara, México. Explosión de gasolina en el alcantarillado de la ciudad. 202 muertos. 200 millones de U\$S por indemnizaciones.

DIOXINAS Y FURANOS

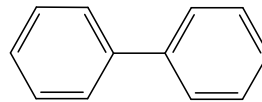
Las dioxinas son dibenzo-p-dioxin policloradas (PCDD's del inglés: polychlorinated dibenzo dioxins) y son contaminantes lipofílicos que pueden aparecer en muchos productos y cadenas alimentarias (pescado, huevos, carne, leche, pollo, etc.). La dioxina más tóxica de todas es la 2,3,7,8- TCDD ó simplemente TCDD (tetraclor dibenzo-para-dioxina):



Los dibenzo furanos clorados (PCDF's "polychloride dibenzo furans") y los bifenilos policlorados (PCB's "polychloride biphenyls") también son muy tóxicos. Estos últimos se utilizaban como líquido aislante en los transformadores eléctricos hasta que fueron prohibidos en 1976.



PCDF's (dibenzo furano policlorados)
135 isómeros posibles



PCB's (bifenilo policlorado)
209 isómeros posibles

4.0.0- EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL

En general se tiende a considerar que las fibras textiles naturales tienen un menor impacto ambiental que las fibras textiles artificiales y sintéticas. Sin embargo, considerando el ciclo de producción, procesamiento, utilización, descarte y posibles procesos de reciclado, se podría afirmar que, en el balance global, **las fibras textiles sintéticas** presentan grandes ventajas sobre el resto de las fibras textiles.

4.1.0 - PRODUCCIÓN

El cultivo de **algodón**, p.ej., requiere la utilización de grandes extensiones de tierra de buena calidad que, por tanto, no pueden disponerse para la producción de cultivos destinados a la alimentación humana. El cultivo del algodón requiere además grandes cantidades de agua para irrigación. En un planeta en el que, en muchas regiones, el agua comienza a ser un recurso escaso y costoso esto es un aspecto a tener muy en cuenta. La casi total desecación del mar Aral en Rusia, ha sido provocada, en gran medida, por el cultivo intensivo de algodón en los territorios cercanos.

El **algodón** es también un cultivo susceptible a ser atacado por insectos, hongos y diversas enfermedades. Si es cosechado a máquina, las plantas deben ser previamente defoliadas químicamente. Luego de cosechado debe a veces almacenarse por tiempo prolongado en locales con altas temperaturas ambiente y, para su conservación, se debe tratar con fungicidas del tipo de los PCB. Es decir que, el cultivo de algodón requiere grandes cantidades de fertilizantes, pesticidas y defoliantes que de alguna manera contaminan el suelo, pasan a los acuíferos y de allí, a las corrientes de agua naturales.

En relación al rendimiento de fibra, la **lana** requiere extensiones de tierra mucho mayores que el algodón, si bien estas tierras no necesitan ser de tan buena calidad como la que se deben destinar a un cultivo agrícola. Por otra parte, la **lana**, a diferencia del algodón, requiere ser

lavada y para ello se usan también grandes cantidades de agua y detergentes sintéticos para ese fin. Esas aguas de lavado, con una alta demanda biológica y química de oxígeno (DBO y DQO), pueden constituir una fuente de contaminación muy importante, salvo que sean adecuadamente tratadas.

La DBO de las aguas de lavado de lana puede alcanzar valores de hasta 80.000 ppm. Además, los tensoactivos residuales que contienen, en general, no son fácilmente biodegradables, como es el caso de los compuestos no iónicos del tipo de los alquil fenol polioxietilenos. Los efluentes, entonces, deben ser centrifugados separando la “grasa de lana” (*con un alto contenido de lanolina*). La fracción líquida debe ser sometida a tratamientos especiales y los barros obtenidos pueden disponerse como abono. Finalmente, debe contabilizarse también el gasto de energía necesario para el secado de la lana lavada, lo que implica, en general, la generación de calor, directa o indirecta, por combustión, con la inevitable emisión de gases a la atmósfera.

Las **fibras artificiales** como el **rayón viscosa** y los **rayones acetatos** se producen a partir de celulosa obtenida de la madera. Para producirlas es entonces necesario disponer de importantes extensiones de tierra forestada (*naturales o plantadas por el hombre*). La purificación de la pulpa de madera requiere también grandes cantidades de agua así como el uso de cloro, dióxido de cloro o peróxido de hidrógeno. En el caso particular del **rayón viscosa**, la fibra artificial de mayor consumo, para poder obtener un material hilable, la celulosa debe disolverse utilizando importantes cantidades de disulfuro de carbono y soda cáustica. El balance final implica el consumo de grandes cantidades de agua y energía, con la producción de grandes volúmenes de efluentes cargados de sustancias tóxicas. Sin embargo, la producción de las nuevas fibras de celulosa regenerada, **Lyocel** o **Tencel**, es menos contaminante pues, los solventes utilizados en el proceso son reciclables.

Las fibras sintéticas (*poliamidas, poliéster, poliuretánicas, etc.*) son producidas a partir de productos químicos derivados del petróleo. El petróleo es un recurso no renovable y ese inconveniente se agrava por el hecho de que su consumo, como combustible (*vehículos de transporte, calefacción, generación termoeléctrica, etc.*) crece sin cesar. Sin embargo, su uso como materia prima básica para la producción de fibras textiles sintéticas es seguramente de mucho menor impacto ambiental. Si bien los procesos de producción de las fibras sintéticas tienen sus propios problemas ambientales – p.ej., la liberación de óxido nitroso a la atmósfera en la producción de nylon (el óxido nitroso es uno de los gases que producen efecto invernadero) - una adecuada ingeniería de las plantas industriales, podría reducir este tipo de emisiones a cero o a un mínimo.

4.2.0- PROCESOS

Si se mantiene una adecuada higiene en los ambientes de trabajo, la **hilatura** y la **tejeduría** son relativamente poco contaminantes del medio ambiente. El polvo, las partículas y las fibras que se puedan desprender durante las operaciones de apertura, limpieza, cardado, etc., especialmente en el caso del algodón, deben ser aspirados por los equipos que realizan estas operaciones y, luego retenidos en filtros, ciclones, etc. (*ver Vol. II, Cap. 4, “Hilatura de Fibras Discontinuas”*).

Los efluentes provenientes de los **procesos húmedos** requieren, en cambio, tratamientos fisicoquímicos y/o biológicos (*aeróbicos o anaeróbicos*) para disminuir los riesgos de contaminación de arroyos, ríos, lagunas y acuíferos. En general, es conveniente que los efluentes generados en los procesos húmedos de la industria textil, sean de volumen reducido y con altas concentraciones de las sustancias contaminantes. De esta manera las plantas de tratamiento serán más pequeñas y eficientes y los gastos de inversión relativamente bajos.

En el tipo de efluentes producidos es donde se pueden apreciar las mayores diferencias entre el impacto ambiental de las fibras textiles naturales y de las hechas por el hombre, con claras ventajas para estas últimas. Veamos algunos ejemplos:

- 1) En el caso del descrudado y mercerizado del algodón se generan efluentes con alto contenido de hidróxido de sodio (pH 10 o más) que deben ser adecuadamente neutralizados antes de verterlos. En el caso del descrudado, el efluente tiene temperaturas cercanas a los 90°C y debe ser, además de neutralizado, enfriado.
- 2) El desencolado, es decir la operación por la que se retira el encolante que se utilizó para impregnar la urdimbre antes de tejer una tela plana, genera efluentes con alto contenido de materia orgánica que debe ser adecuadamente tratado. Los encolantes más utilizados están compuestos de almidón, alcohol polivinílico y/o poliacrilatos.
- 3) Los efluentes de las operaciones de blanqueo químico en las que se utilizan agentes oxidantes, como el hipoclorito de sodio y el peróxido de hidrógeno, deben ser previamente reducidos, neutralizados y enfriados antes de verterlos.
- 4) La tintura del algodón puede ser de bajo agotamiento, especialmente cuando se utilizan algunos colorantes reactivos. Por tanto, la remoción del color y la disminución del DQO por tratamientos fisicoquímicos del efluente son imprescindibles antes de verterlo. En caso de utilizarse colorantes al sulfuro, el efluente debe tratarse especialmente para eliminar estos compuestos tóxicos y su olor desagradable. En general, una empresa algodonera que realice diversos procesos húmedos, además del tintura, como descruce, blanqueo, mercerizado, etc. puede tener efluentes alcalinos con DBO entre 300 y 1000 mg/l
- 5) En la tintura de lana, a diferencia del algodón, se obtienen buenos agotamientos especialmente cuando se tiñe con colorantes ácidos y los efluentes, por tanto, no contienen altas cantidades de colorantes. Sin embargo, la tintura con colorantes al cromo produce efluentes con altos contenidos de cromo trivalente que debe ser retirado del efluente. Los colorantes al cromo, por esta razón, se usan cada vez menos, empleándose en su lugar colorantes premetalizados.

Las fibras hechas por el hombre, en cambio, en general no necesitan ser blanqueadas y tienen bajos niveles de contaminantes como grasas, aceites, polvo, etc. Estos contaminantes pueden ser removidos más fácilmente utilizando reducidos volúmenes de agua, temperaturas más bajas (*alrededor de 50° C*) y menores cantidades de tensoactivos. Esto resulta en importantes economías de agua, energía y productos químicos. Algunos valores comparativos típicos, de volúmenes totales de agua utilizada, son como sigue: nylon 50 l / kg, algodón: 250 l / kg, lana: 400 l /kg. Por otra parte, el lavado p.ej. de nylon da como resultado un efluente con una BOD típica de solo 100 ppm, valor muy bajo si lo comparamos con los de un lavadero de lana (*40.000 o más*).

En general, en la tintura de las fibras poliamídicas y acrílicas el agotamiento de los baños de tintura es muy alto de manera que los efluentes tienen bajas concentraciones de colorante residual. En la tintura de **poliéster**, sin embargo, los efluentes pueden contener productos auxiliares tóxicos como los **“carriers”**. Las empresas proveedoras de estos productos tratan, en general, de desarrollar **“carriers”** menos contaminantes

4.3.0 - USO, DESCARTE Y RECICLADO

En general las prendas hechas de fibras sintéticas tienen mayor resistencia al desgaste, a la rotura y al ataque de hongos e insectos. Requieren menos lavados, con cantidades de agua y

detergentes en general bajos. Son también más fáciles de secar. Las prendas requieren menos "limpieza en seco".

Todo lo mencionado implica en general una vida más larga para el artículo hecho de fibras sintéticas y agrega una ventaja adicional importante a favor de dichas fibras. La situación se hace en cambio desfavorable cuando estos artículos llegan al fin de su vida útil y no queda otra alternativa que descartarlos. En general terminan siendo llevadas con otros residuos sólidos a un área de relleno y enterradas, con el inconveniente de que su biodegradación puede durar mucho tiempo. Una alternativa es utilizarles como combustible en calderas provistas de quemadores apropiados. Otra alternativa sería recuperar el polímero para utilizarlo en artículos moldeables.

Considerando la perspectiva de una población mundial en aumento incesante, es muy probable que la disponibilidad de tierras para la producción de algodón y lana sea cada vez menor por la necesidad de destinar esas tierras para la producción de alimentos. Por otra parte, si bien las fibras sintéticas, derivadas de la petroquímica, presentan ciertas ventajas sobre las naturales, la posible futura escasez de petróleo hace que tampoco se pueda prever el futuro con mucha claridad.

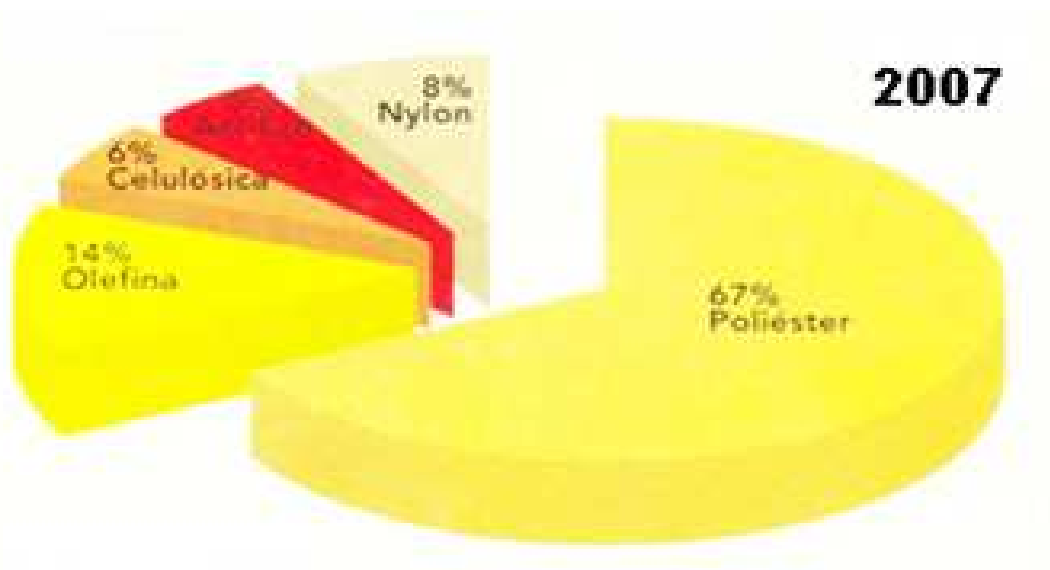


Figura 12.1

TABLA 12.5
LAS ACTIVIDADES HUMANAS Y SU IMPACTO AMBIENTAL

CONTAMINACION PROVENIENTE DE	TIPO DE CONTAMINACION		DAÑOS MAS IMPORTANTES
ASENTAMIENTOS HUMANOS (especialmente urbanos)	GASES	Oxidos de carbono y otros	Efecto invernadero
	LIQUIDOS	Aguas servidas	Destrucción de la capa de ozono
	SOLIDOS	Residuos domiciliarios Residuos hospitalarios Envases plásticos desechados	Alteración de la diversidad biológica Tala de bosques y desertificación Contaminación del suelo y acuíferos
TRANSPORTE AUTOMOTOR	GASES	Oxidos de carbono y otros	Efecto invernadero
	SOLIDOS	Neumáticos de caucho sintético Acumuladores de plomo Otros (metales, plásticos, etc.)	Destrucción de la capa de ozono Contaminación del suelo y acuíferos Ruido
ACTIVIDAD AGROPECUARIA	GASES	Oxidos de carbono (respiración y combustión)	Efecto invernadero
	LIQUIDOS	Agua de lluvia y regadío con pesticidas y fertilizantes.	Destrucción de la capa de ozono
	SOLIDOS	Residuos agrícolas	Alteración de la diversidad biológica Contaminación del suelo y acuíferos
INDUSTRIA	GASES	Oxidos de carbono y otros contaminantes gaseosos	Efecto invernadero
	LIQUIDOS	Diversos efluentes	Destrucción de la capa de ozono
	SOLIDOS	Diversos residuos	Alteración de la diversidad biológica Contaminación del suelo y acuíferos

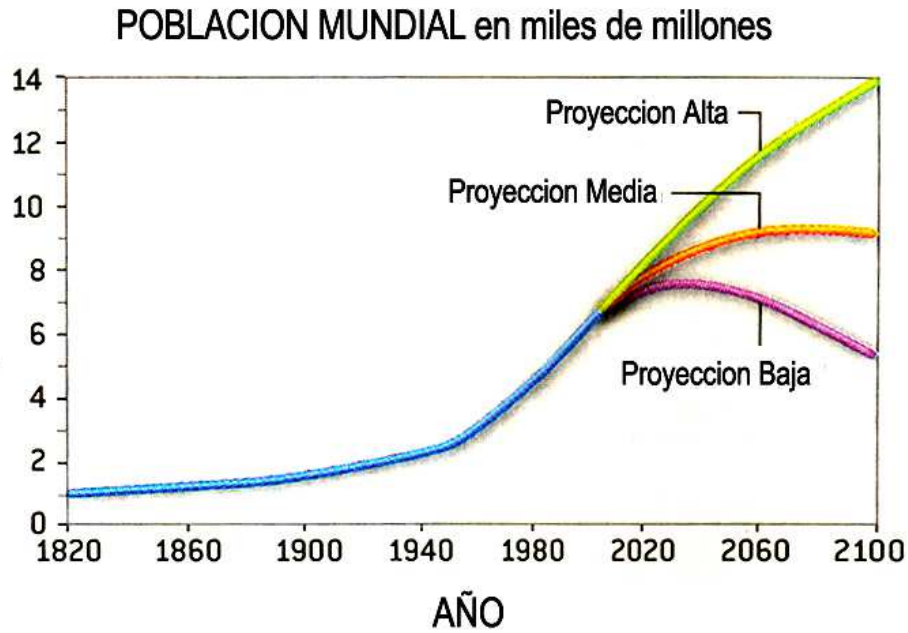


Figura 12.2

(Tomada del Scientific American, Volumen 293, Nº 3, Septiembre 2005)

BIBLIOGRAFÍA

- 1- **"El Tratamiento de los Efluentes de Lavaderos de Lana"**, María Viñas y col. Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 2000.
- 2- **"Recent Advances in Environmentally Compatible Polymers"**, Ed. By J.F.Kennedy, Woodhead Publishing Ltd., sales@woodhead-publishing.com
- 3- **"Recycling Textiles and Plastic Waste"**, Ed. By A.R.Harrocks, Woodhead Publishing Ltd., sales@woodhead-publishing.com
- 4- **"Ecotextiles'98"**, Proceedings of the Conference Ecotextile '98, April 1998, Bolton, UK, Woodhead Publishing Ltd., sales@woodhead-publishing.com
- 5- **"Textiles and the Environment"**, K.Slater, Woodhead Publishing Ltd., Woodhead Publishing Ltd., sales@woodhead-publishing.com
- 6- **"La Tierra Explota. Superpoblación y Desarrollo"**. Giaovanni Sartori y Gianni Mazzoleni, Santillana Ed., Bs.As. 2003
- 6- **"Entropia. Hacia el Mundo Invernadero"**. Jeremy Rifkin. Ed.Urano, Barcelona 1990