

Valorización energética de carozos de duraznos y damascos triturados

Giordano, R.¹; Vanin, N.²; Reynoso, M.²; Attorri, R.³

¹ ANGIORD S.A.C.I - ² INTI Mendoza - ³ Consultor independiente Marketing&Exclencia CG
raul.giordano@angiordsaci.com.ar

Introducción

Si bien el uso de biomasa como combustible no es un tema nuevo, el aumento rápido de los costos de energía y la preocupación por el suministro han derivado en que muchas empresas busquen nuevas alternativas tecnológicas para resolver sus problemas energéticos, en este sentido es cada vez más rentable usar lo que algunas empresas consideran "residuos" como biocombustibles para la generación de energía térmica o eléctrica.

Al utilizar residuos como combustible se reduce el impacto ambiental negativo de la actividad agroindustrial, ya que, por un lado, se reduce la emisión de dióxido de carbono y, por otro, se reutiliza un residuo el que pasa a ser un insumo del proceso.

El presente trabajo se basa en analizar el reemplazo de parte del gas natural requerido para una temporada de trabajo en una agroindustria, partiendo de la facturación de gas y de la cantidad de biomasa generada en esa temporada.



Figura 1: Línea de Selección de Durazno.

La operación marcadamente estacional de la producción lleva a que la empresa ocupe bandas de consumo elevado, encuadrándose como gran consumidor. Respecto al gas natural, su uso está principalmente vinculado a la generación de energía térmica en forma de vapor que se utiliza para los procesos de tratamiento térmicos (pasteurización y pelado), concentración de pulpas y pastas y elaboración de mermeladas.

Método

El caso de estudio es una agroindustria que utiliza gas para generar vapor utilizado en la elaboración de conservas y mermeladas de duraznos y damascos durante el año 2016.

Se procesaron, en total, unos 7.950.000 Kg de materias primas, de los cuales unos 4.700.000 kg correspondieron a duraznos y damascos. Sobre la base de la experiencia de la empresa se considera que se genera un residuo de carozos equivalente a un 10% de dicha masa, generando un costo anual en la disposición final del residuo de \$220.000 entre movimientos internos, transporte y disposición.

Desde el punto de vista energético, en la tabla 1 se ilustra cómo se distribuye el consumo de gas natural y cómo afecta la estacionalidad y el uso de gas de importación en el precio del Nm³ de gas natural consumido.

Tabla1: Consumo de gas natural y precio

PERÍODO	CONSUMO (Corregido a 9.300 Kcal/Nm3) (Nm3)	Total (\$)	Precio Unitario (\$/Nm3)
ene-2016	121.624	385.052	3,1659
feb-2016	218.750	715.198	3,2695
mar-2016	150.483	426.951	2,8372
abr-2016	142.874	435.026	3,0448
may-2016	39.570	190.266	4,8083
jun-2016	46.245	223.403	4,8309
jul-2016	19.070	114.508	6,0046
ago-2016	19.539	118.522	6,0659
sep-2016	55.056	265.756	4,8270
oct-2016	30.948	129.068	4,1705
nov-2016	33.373	142.747	4,2773
dic-2016	126.878	431.107	3,3978

Puede observarse que, en los meses de Julio y Agosto, donde el consumo mensual es el menor del año, la tarifa unitaria resulta la más elevada, debido a que el componente de gas importado es más importante.

Caracterización energética del residuo para su utilización como biocombustible

Desde el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) se avanzó en el estudio y

caracterización energética del residuo, en este caso las muestras correspondían a una mezcla de carozos de duraznos y damascos triturados.

Si bien en el proceso se genera una diversidad de materiales que pueden utilizarse como biomasa para la generación de energía térmica, el proyecto se restringió a carozos de duraznos y damascos por tratarse de los materiales que permiten una rápida adaptación a su uso como combustible con una mayor homogeneidad y estabilidad de sus propiedades como biomasa combustible.

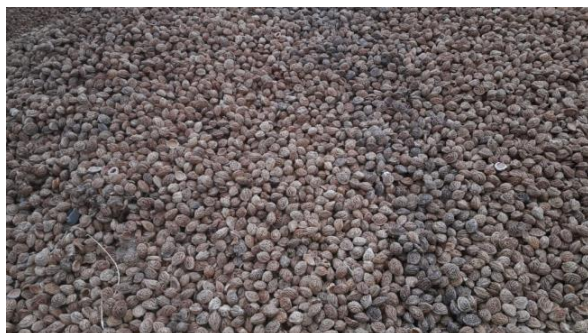


Figura 2: Carozos de duraznos y damascos

Sobre la muestra se realizó la determinación de granulometría y densidad aparente; y de los parámetros: humedad (H), cenizas (Ce) y materias volátiles (MV) según Normas UNE para Biocombustibles Sólidos [3-6].

A partir del análisis elemental, y con las correlaciones publicadas por Shen se estimó el contenido de Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (H) para conocer la composición elemental del biocombustible [8].

Con los datos anteriores se estimó el Poder Calorífico superior (PCS) tomando la correlación lineal publicada por [7].

Se calculó el Poder Calorífico Inferior (PCI) y Poder Calorífico Inferior útil (PCl_u) con las fórmulas de Dulong [2].

Con la información obtenida se realizó un informe preliminar de la potencialidad del residuo para su utilización como biocombustible en un equipo de vapor y estimación del vapor generado. Sobre la base de estudios realizados por el INTI se iniciaron las etapas de diseño siguiente.

Solución tecnológica propuesta para la problemática planteada-

El proyecto plantea aplicar la tecnología de combustión de material sólido para la generación de vapor. Se desarrollará el sistema de combustión a partir de componentes base, cuyo dimensionamiento y diseño funcional se reformulará sobre la base de la experiencia a

desarrollar.

Tabla 2: Resultados determinaciones y cálculos de muestras (Fuente INTI).

Carbono Fijo (CF);	% w/w base seca	17,40
<u>Método:</u> Cálculo.		
Carbono (C);	% w/w base seca	48,66
Hidrógeno (H);	% w/w base seca	5,95
Oxígeno (O);	% w/w base seca	44,31
<u>Método:</u> Correlación de Shen.		
Poder Calorífico Superior (PCS);	kcal/kg	4.091,7
<u>Método:</u> Correlación de Nhuchien y Salam.		
Poder Calorífico Inferior (PCI);	kcal/kg	4.079,2
<u>Método:</u> Fórmula de Dulong.		
Poder Calorífico Inferior útil (PCl _u);	kcal/kg	3.653,4
<u>Método:</u> Fórmula de Dulong		
Densidad Aparente (gr/cm ³)		0,614
Norma ASTM E873-82 (Modificada)		
Granulometría:	%	
Malla 4 (4750 µm)		81,9
Malla 8 (2360 µm)		13,2
Malla 14 (1400 µm)		2,7
Resto		2,3

Básicamente se compondrá de las siguientes etapas:

Recepción y almacenaje de biomasa.

Densificación y acondicionamiento de biomasa.

Alimentación, sistemas de transporte.

Sistema de ignición y control de llama por demanda.

Caldera humotubular con equipamiento auxiliar.

Todas las etapas previas a la caldera serán de materiales estándar pero funcionalmente permitirán variaciones para ajustar las condiciones de la combustión hasta encontrar el óptimo para la biomasa a ensayar.

Se ha seleccionado una caldera humotubular de dos pasos para generación de vapor por tratarse del formato más conveniente en función de las características físicas del combustible y del calor específico potencial determinado en los ensayos preliminares realizados por el equipo del proyecto. Si bien existen sistemas patentados disponibles tanto a nivel internacional como producidos por empresas locales que utilizan diferentes biomásas, no se dispone de un sistema similar para el uso de carozo de durazno. El desarrollo de ingeniería permitirá realizar adaptaciones y cambios a los equipos de base para que permitan el adecuado procesamiento de la biomasa y su combustión.

El sistema quemador se adaptará a distintas condiciones de la biomasa, tendrá regulación automática para garantizar la combustión completa. Todas las funciones que regulan la

combustión serán controladas automáticamente. Además de dimensionar el sistema de: recepción de biomasa, acondicionamiento, alimentación, ignición, régimen de llama, disposición de cenizas; se adquirirá una caldera con sus accesorios, la cual se reconvertirá, mediante una adaptación del quemador, a biomasa y, de esta manera, se armará el prototipo a escala industrial para poder evaluar la eficacia del diseño propuesto.

Desempeño ambiental

La quema de biomasa genera contaminantes (generalmente dióxido y monóxido de carbono, compuestos de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado o cenizas volantes) y dependiendo del tipo de biomasa se pueden tener otros contaminantes presentes.

Siempre que hablamos de incineración de biomasa, lo primero que se hace es relacionar esto con el incremento de gases de efecto invernadero, en este sentido, a diferencia de los combustibles fósiles, cuando se realiza la combustión de biomasa, esta libera CO₂ a la atmósfera, el mismo CO₂ que absorbió durante su crecimiento, por lo tanto, siempre y cuando se consume de manera sostenible, el ciclo se cierra y el nivel de CO₂ emitido a la atmósfera se mantiene constante, por lo que podemos considerar que el CO₂ que se deja de emitir por no utilizar gas natural resulta en una disminución neta de la emisión de este gas a la atmósfera.

Del proyecto se concluye que los 470.000 Kg de carozo aportarán 1.200.850.000 Kcal, lo que representa una disminución del 12,86 % de la energía a producir con gas natural, que se traduce en una disminución de las emisiones de CO₂.

Análisis económico del Proyecto

Desde el punto de vista económico, la principal motivación surge por la evolución de las tarifas de gas, que produjeron un impacto significativo sobre el costo total de producción.

Tabla 3: Materia Prima procesada y Gas consumido

Año	Nm ³ gas/Año (9300 Kcal/Nm ³)	Materia prima procesada (Kg/año)
2.015	1.207.287	6.800.000
2.016	1.004.410	7.950.000

La evolución del consumo y del total elaborado en el período 2015 – 2016 se indica en la tabla siguiente.

En el período, la incidencia del gasto en gas sobre el total de los gastos de producción fue:

Tabla 4: Incidencia del combustible en el costo

Año	Costo Gas (\$)	Costos de mercadería vendida (\$)	Incidencia del costo del gas natural %
2.015	2.187.330	74.847.420,87	2,92%
2.016	3.577.603	74.239.140,49	4,82%

El aumento de la incidencia del costo de gas sobre el total sufrió un incremento del 64,9% en el período analizado.

Para evaluar económicamente el proyecto se calcula el Valor Actual Neto y su sensibilidad a partir del flujo de fondos que se genera por su ejecución [1]. Los criterios para conformar estos flujos de fondos son:

Inversiones: incluyen los gastos en equipamiento: playa de almacenaje, sistema de transporte, molturación, alimentación a la caldera, quemador, caldera, adaptación de instalaciones de servicios y de vapor, adecuación del galpón de la caldera, gastos de ingeniería y habilitaciones.

Ingresos: generados por los ahorros de fletes de residuos y por la disminución de consumo de gas natural de la red.

Gastos: se consideran los gastos operativos incrementales del sistema: energía eléctrica, mantenimiento e insumos de tratamientos de agua. La mano de obra, por tratarse de personal permanente, no se ve modificada por el proyecto. **Horizonte de evaluación:** es el tiempo de vida útil de los componentes principales del sistema: diez años.

Tasa de descuento para los flujos de fondos: se toma un valor de 13% anual.

La situación sin proyecto corresponde al funcionamiento tradicional optimizado del sistema de generación de vapor, consumiendo gas natural de red.

La situación con proyecto contempla la incorporación del equipamiento y las mejoras de infraestructura requeridos para la implementación del sistema de generación con biomasa.

El marco conceptual del proyecto se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5: Resumen Proyecto

Biomasa	Carozo de durazno y damasco
Contenido de biomasa en Materia Prima:	10,00%
Materia Prima procesada (Kg/Año):	4.700.000
Biomasa disponible (Kg/Año):	470.000
Calor específico biomasa (Kcal/Kg):	3.650

Rendimiento global (Kcal/Kcal teórica):	70,00%
Energía de biomasa disponible (Kcal):	1.200.850.000
Energía Total requerida (Kcal):	9.341.013.000
Energía neta requerida (Kcal):	8.140.163.000
Nm ³ gas (9300 Kcal/m ³) consumidos:	1.004.410
Nm ³ Equiv.gas (9300 Kcal/m ³) por biomasa:	129.124
m ³ netos requeridos de gas (9300 Kcal/m ³):	875.286
Gasto anual (\$):	3.577.603
Ahorro por biomasa a \$3,5619 /m3 (\$/Año):	459.925
Ahorro por gestión del residuo (\$/Año):	220.000
Gastos operativos (\$/Año):	25.000
Ahorro anual en \$:	654.925
Ahorro en Kcal (%):	12,86%
Ahorro en \$ (%):	18,31%
Inversión estimada (\$):	2.700.000

El flujo de fondos resultante es que se muestra en la Tabla 6.

Se calcula el valor actual neto, período de recupero de la inversión y tasa interna de retorno, los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 6: Flujo de fondos del proyecto

Item (\$/Año)	M0	Año 1	Año 2	Año 3 al 10
Inversión Estimada	2.700.000			
Ahorro Neto Anual		654.925	654.925	654.925
Total	-2.700.000	654.925	654.925	654.925

Nota: para el cálculo del **período de repago** se consideran los flujos netos anuales descontados al momento cero.

Tabla 7: Datos de VAN, TIR y PR

Horizonte de evaluación (años)	10,00
Tasa de descuento anual (%)	13,00
VNA	853.782
TIR (%)	20,50
Período de recuperación (años)	7,0

El VAN del proyecto indica que el mismo es económicamente rentable en las condiciones planteadas.

A continuación, se realiza un análisis de sensibilidad para establecer una aproximación al riesgo que plantea la variación de los supuestos utilizados. Si la variación en un uno por ciento de la variable independiente produce una variación por debajo del uno por ciento en la variable analizada, esto indica que el proyecto no se ve afectado sensiblemente. Por el contrario, si la

variación de un uno por ciento en la variable independiente provoca más de un uno por ciento de variación en el indicador, nos muestra que el proyecto será afectado sensiblemente.

Para el caso en análisis, se ha estimado la elasticidad del VAN a variaciones esperadas de la capacidad calorífica de la biomasa, la eficiencia global del proceso de uso de biomasa para generar vapor, el contenido de biomasa en la materia prima y los gastos de gestión del residuo en la situación actual. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Valores del proyecto y límites esperables para los parámetros de diseño.

Variable de diseño	Valor base	Valor esperable
Cap. Calorífica BM (Kcal/Kg)	3.650	>= 3.400
Eficacia aprovechamiento BM (%)	70,00%	>= 70
Contenido de BM en MP (%)	10,00%	>= 10
Costo de gestión de residuo sin proyecto (\$/año)	220.000	>= 220.000

Valor base: Valor tomado para la evaluación.

Valor esperable: Valor tomado como límite aceptable de las fluctuaciones de la variable función de la experiencia de la empresa.

Valores para nivelación: valores que deben tomar las variables de diseño para que el VAN del proyecto resulte nulo.

Elasticidad del VAN: indica la variación del VAN que corresponde a una variación de un 1% de la variable analizada.

Los resultados del análisis de sensibilidad son:

Tabla 9: Resultados del Análisis de Sensibilidad

Parámetro de diseño	Valores para nivelación		Elasticidad VAN (10años; 13,0%)
	Variación (%)	Valor de nivelación	
Cap Calorífica BM (Kcal/Kg)	-34,21%	2.401	2,92
Eficacia aprovechamiento BM (%)	-34,21%	46,05%	5,63
Contenido de BM en MP (%)	-34,21%	6,58%	3,25
Costo de gestión de residuo sin proyecto (\$/año)	-71,52%	62.657	1,43

Resultados y Discusión

Desde el punto de vista económico, el proyecto resulta conveniente, teniendo en cuenta que los indicadores son positivos habiéndose adoptado criterios conservadores para su formulación. Asimismo, el análisis de sensibilidad indica que el proyecto se mantiene rentable dentro de los rangos esperados de variación de los parámetros

de diseño.

Por otro lado, las condiciones del entorno económico indican que el costo específico por Nm³ de gas de red sostiene una tendencia a la suba independientemente de los programas de ahorro y optimización de la empresa, lo que da más consistencia a la viabilidad económica del proyecto.

Desde el punto de vista tecnológico se trata de un desarrollo de adaptaciones innovativas de procesos y maquinarias existentes más un sistema automático de operación y control totalmente innovador que asegura una alta eficiencia de la combustión con mínima generación de residuos.

Desde el punto de vista ambiental, se valoriza un residuo generado en el proceso productivo y se reemplaza un combustible fósil por biomasa combustible. Los indicadores ambientales del proyecto dan cuenta de este impacto positivo.

Conclusiones

El análisis realizado permite concluir que la rentabilidad del proyecto es afectada sensiblemente por fluctuaciones en las variables de diseño. No obstante, las mismas deberían alcanzar valores en la realidad para que el VAN se anule.

Como parte del Sistema Nacional de Innovación, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial contribuye al desarrollo de innovaciones, en especial en el sector PYMEs, alentando al desarrollo de nuevas alternativas para la gestión, reuso y valorización de residuos, con una importante componente en la generación de energías alternativas.

El proceso de interacción de los diferentes actores, tanto públicos como privados permitió llevar adelante el proyecto presentado.

Actualmente el proyecto se presentó a la línea del FONTAR convocatoria 1/2017 ANR Producción más Limpia, siendo aprobado para su realización.

Agradecimientos

El trabajo presentado fue posible gracias al aporte y trabajo en conjunto de las siguientes empresas e instituciones: ANGIORD S.A.C.I.; BIOTEK Eficiencia Energética.; Consultora Marketing&Excelencia CG.; Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Referencias

- [1] Sapag – Sapag (2003). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. McGraw-Hill Interamericana.
- [2] Xavier Elías Castells (2005). *Tratamiento y*

Valorización Energética de Residuos. Editorial Díaz de Santos. España.

[3] Normas UNE CEN/TS 14774: Biocombustibles Sólidos. Método para la determinación del contenido de humedad. Parte 1: Humedad total. Parte 2: Método simplificado.

[4] Norma UNE EN 14775: Biocombustibles Sólidos. Método para la determinación del contenido de cenizas.

[5] Norma UNE EN 15148: Biocombustibles Sólidos. Determinación del contenido en materias volátiles.

[6] Norma ASTM E873-82: Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels.

[7] Nhuchhen, D. y Salam, P. (2012). Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. Thailand: Elsevier. *Fuel* (99), 55-63.

[8] Shen, J.; Zhu, S.; Liu, X.; Zhang, H. y Tan, J. (2010). The prediction of elemental composition of biomass based on proximate analysis. Nanjing: Elsevier. *Energy Conversion and Management* (51), 983-987.