

# ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE DE INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN INTERFEROMÉTRICA DE BLOQUES PATRÓN

L. Álvarez, E. Beer, G. Giarmana, K. Bastida  
INTI Física y Metrología  
alvarez@inti.gob.ar

## OBJETIVO

Actualizar la evaluación de incertidumbre correspondiente a la calibración interferométrica de bloques patrón.

## DESCRIPCIÓN

Desde 1999, INTI – Física y Metrología materializa la unidad de longitud, en el rango de 0,5 mm a 100 mm, mediante un sistema interferométrico NPL-TESA AGI 1/300 a través de la calibración interferométrica de bloques patrón, BP. En 2013 se inició la modernización de dicho sistema, tanto el hardware como en software, lo que permitió la automatización del registro de datos y la consecuente reducción de los plazos del proceso de calibración. Otro aspecto importante del proceso de modernización es la actualización del balance de incertidumbre de medición. Esta evaluación se realiza según los requerimientos generales aceptados internacionalmente a través de la ISO – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, GUM.

La calibración interferométrica de BP consiste en la determinación del desvío respecto del valor nominal medido en el centro de la cara libre, con una incertidumbre estándar combinada,  $u_c(f_n)$ . El modelo matemático que tiene en cuenta los diversos factores de influencia se representa por la ecuación:

$$f_n = l_{fit} - L + l_t + l_w + l_A + l_\Omega + l_n + l_G + l_\phi$$

donde:

- $f_n$  es la desviación al centro medida en forma interferométrica;
- $l_{fit}$  es la mejor estimación de la longitud del BP basada en el método de excedentes fraccionarios a partir de dos longitudes de onda.
- $L$  es la longitud nominal del BP.
- $l_t$  es la corrección por temperatura. Este factor de corrección surge del desvío de la temperatura del BP,  $T_G$ , respecto a la temperatura de referencia de 20 °C establecida por ISO 3650 1998.
- $l_w$  es la corrección por efectos del proceso de pegado. La definición de la longitud del BP incluye la película de pegado por lo que el valor esperado

$\langle l_w \rangle = 0$ . Sin embargo existe una contribución,  $u(l_w)$ , no nula a la incertidumbre combinada.

- $l_A$  es la corrección por errores del frente de onda. Al igual que en el caso anterior el valor esperado,  $\langle l_A \rangle = 0$ , pero existe una contribución no nula,  $u(l_A)$ , a la incertidumbre combinada.
- $l_\Omega$  es la corrección por oblicuidad asociada a alineación del sistema interferométrico. La contribución a  $u_c(f_n)$  se determina teniendo en cuenta parámetros de las componentes ópticas.
- $l_n$  es la corrección por variación del índice de refracción del aire. Se evalúa teniendo en cuenta el modelo empírico de Edlén, el cual a su vez depende de la temperatura ambiente, la presión y la temperatura de punto de rocío.
- $l_G$  es la corrección correspondiente a las desviaciones de planitud y paralelismo del BP.
- $l_\phi$  es la corrección por salto de fase debida a la diferencia en las propiedades de reflexión entre el BP y la platina. Se determina por el método de apilamiento, formando conjuntos de cuatro BP pegados entre sí.

La incertidumbre estándar combinada  $u_c(f_n)$  se determina considerando las componentes de incertidumbre de los factores de influencia ponderados por los coeficientes de sensibilidad correspondientes de cada factor:

$$u_c^2(f_n) = C_{f_n}^2 u_c^2(l_{fit}) + C_{l_t}^2 u_c^2(l_t) + C_{l_w}^2 u_c^2(l_w) + C_{l_A}^2 u_c^2(l_A) + C_{l_\Omega}^2 u_c^2(l_\Omega) + C_{l_n}^2 u_c^2(l_n) + C_{l_G}^2 u_c^2(l_G) + C_{l_\phi}^2 u_c^2(l_\phi)$$

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran las contribuciones de las componentes, las incertidumbres estándar y los coeficientes de sensibilidad correspondientes. En verde se destacan las componentes que dependen de la longitud nominal y en azul los términos independientes. En gris se identifican los términos que han sufrido la mayor variación a partir de la presente actualización. Se incluyen también los valores de las componentes correspondientes al balance de incertidumbre anterior (Diciembre de 2010) a modo de comparación.

Tabla 1: Componentes de incertidumbre estándar para la calibración interferométrica de bloques patrón por sistema NPL-TESA AG11/300

Fuente $x_i$	Componente	Incertidumbre estándar $u(x_i)$	Factor Cobertura k	Coefficiente de sensibilidad $k_i = \partial/\partial x_i$	$u_i = k_i/u(x_i)$ (nm)	Dic. 2010 $u_i = k_i/u(x_i)$ (nm)	
Método Excedentes Fraccionarios	$\lambda_1$ (633 nm)	Calibración	$5,08 \times 10^{-7}$ nm	2	$L/(2\lambda_1)$	0,0018 (L/mm)	0,0018 (L/mm)
		Drift	$2,26 \times 10^{-6}$ nm	-			
	$\lambda_2$ (543 nm)	Calibración	$1,00 \times 10^{-5}$ nm	2	$L/(2\lambda_2)$	0,0497 (L/mm)	0,0118 (L/mm)
		Drift	$-5,31 \times 10^{-5}$ nm	-			
	$F_1 = F_2$	Fración franja	0,0173 fringe	$\sqrt{3}$	$\lambda_i/4$	3,61	3
Efectos Térmicos en BP	$t_g$	Calibración	0,005 °C	2	$\alpha L$	0,11 (L/mm)	0,249 (L/mm)
		Resolución	0,00058 °C	$2\sqrt{3} = \sqrt{12}$			
		Drift	0,00577 °C	$\sqrt{3}$			
		Gradiente	0,00577 °C	$\sqrt{3}$			
	$\alpha$	Dilatación	$6,64 \times 10^{-7}$ °C <sup>-1</sup>	$\sqrt{3}$	$\theta_{\max} L$	0,02 (L/mm)	0,01 (L/mm)
$u(\theta) u(\alpha)$	Orden superior	$6,37 \times 10^{-9}$	-	L	0,0064 (L/mm)	-	
Pegado	$l_w$	Película	6,928 nm	$\sqrt{3}$	1	6,928	6,9
Interferómetro	$l_A$	Frente onda	3,64 nm	$\sqrt{3}$	1	3,64	3,4
	$l_\Omega$	Tamaño fuente	14,4 $\mu$ m	$\sqrt{3}$	$S L/(8^*f^2)$	0,0028 (L/mm)	0,0028 (L/mm)
		desalineación	0,05 mm	-	$(1/2)^{1/2} (L/f^2)$	0,011 (L/mm)	0,0058 (L/mm)
Índice de refracción	$t_{\text{aire}}$	Calibración	0,005 °C	2	$\partial n_i / \partial t  _{\lambda, f}$	0,0076 (L/mm)	0,0194 (L/mm)
		Resolución	0,00058 °C	$2\sqrt{3} = \sqrt{12}$			
		Drift	0 °C	$\sqrt{3}$			
	$p_{\text{aire}}$	Calibración	0,07 mbar	2	$\partial n_i / \partial p  _{\lambda, f}$	0,0282 (L/mm)	0,0370 (L/mm)
		Resolución	0,0029 mbar	$2\sqrt{3} = \sqrt{12}$			
		Drift	-0,08 mbar	$\sqrt{3}$			
	$t_{\text{rocío}}$	Calibración	0,1 °C	2	$\partial n_i / \partial f  _{\lambda, p}$	0,0023 (L/mm)	0,0038 (L/mm)
		Resolución	0,0028 °C	$2\sqrt{3} = \sqrt{12}$			
		Drift	-0,20 °C	$\sqrt{3}$			
	$\lambda_1$	Longitud onda	$2,36 \times 10^{-8}$ nm	-	$\partial n_i / \partial \lambda  _{\lambda, f}$	$3,06 \times 10^{-8}$ (L/mm)	-
$n(p, T, f, \lambda_1)$	Edlén	$1 \times 10^{-8}$	1	L	0,01 (L/mm)	0,01 (L/mm)	
Geometría	$l_G$	Planit./paralel.	3 nm	-	1	3 nm	1,4
Salto de fase	$F_i$	Fración franja	3,6 nm	-	$(m+1)/(m-1)^2$	6,80	6,3
	$l_w$	Pegado	6,928 nm	-			
	$l_A$	Frente onda	3,64 nm	-			
	$l_G$	Geometría	3 nm	-			
<b>Incertidumbre estándar combinada, u(fn)</b>							
	<b>Balace actual</b>			<b>Dic. 2010</b>			
$k = 1$	$\sqrt{(11,4)^2 + (0,127)^2} (L/mm)^2$ nm			$\sqrt{(10,5)^2 + (0,254)^2} (L/mm)^2$ nm			
$k = 2$	$\sqrt{(22,8)^2 + (0,25)^2} (L/mm)^2$ nm			$\sqrt{(21)^2 + (0,51)^2} (L/mm)^2$ nm			

Longitud nominal L expresada en mm.

En la Figura 1 se muestran los gráficos de las contribuciones porcentuales a la incertidumbre combinada,  $u_c(f_n)$ , obtenidas para tres longitudes nominales características: L=0,5 mm; L=100 mm y L=300 mm.

Se observa que cuanto mayor es la longitud nominal mayor es la contribución de la componente por efectos térmicos. El rango de 100 mm a 300 mm tiene particular importancia ya que INTI-Física y Metrología tiene interés de extender su Capacidad de Medición y Calibración (CMC) en el mencionado rango.

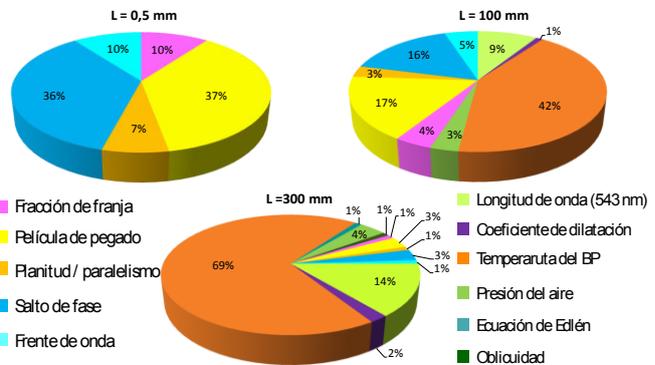


Figura 1. Contribución porcentual a la  $u_c(f_n)$  de los factores de influencia. a) L=0,5 mm; b) L=100 mm; c) L=300 mm