

CALIBRACIÓN DE SISTEMA LÁSER INTERFEROMÉTRICO PARA MEDICIÓN DE DISTANCIAS

M. G. Mingolla ⁽¹⁾, J. Campbell ⁽¹⁾, K. B. Bastida ⁽¹⁾

mmingolla@inti.gob.ar

⁽¹⁾ Dto. Óptica y Dimensional-DT Metrología Física-SOMCeI-GOMyC-INTI

Palabras Clave: Láser interferométrico; Medición de Distancia; Calibración.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la industria ha comenzado a evolucionar en busca de una producción más eficiente y competitiva a nivel nacional e internacional. Para ello ha comenzado a implementar sistemas de calidad a sus procesos y productos, con el fin de asegurar la calidad y confiabilidad de los mismos. Dentro de las exigencias de los sistemas de calidad se encuentra el aseguramiento de la calidad de las mediciones, y es a través de la metrología que se logra dicha meta.

INTI – Metrología Física comenzó a realizar la calibración de láseres interferométricos a raíz de una demanda particular de la industria. Año tras año se han ido incrementando las consultas relacionadas a esta calibración, con lo cual se ha establecido el servicio de manera estable incluyéndolo en la oferta tecnológica del laboratorio.

En este trabajo se describe la calibración del sistema

Este sistema interferométrico es utilizado para realizar mediciones de alta exactitud en distancias que van desde los nanómetros hasta las decenas de metros y es utilizado por ejemplo para la calibración de máquinas de medir por coordenadas y máquinas herramientas, entre otros. Son sistemas muy comunes en la industria como por ejemplo en la metalmecánica.

OBJETIVOS

Resolver una demanda de la industria a través de la sistematización de un nuevo servicio.

DESARROLLO

Equipamiento utilizado

El Laboratorio cuenta con un banco de trabajo de 10 metros de longitud y un sistema interferométrico de referencia (Sr) Hewlett Packard 5526A contra el cual se realiza la calibración por comparación.

Sobre el riel de 10 m hay un carro móvil que tiene montado un espejo retro-reflector con movimiento solidario al mismo (Ver Figura 1).



Figura 1: Banco de trabajo de 10 metros. Extremo superior derecho: detalle del carro móvil. Extremo inferior izquierdo: Sistema láser de referencia (Sr).

Diseño experimental

Para realizar la calibración, se hacen incidir el láser de referencia (Sr) y el láser bajo calibración (Si) por distintas entradas del divisor de haz del sistema interferométrico (Figura 2) de modo que ambos sistemas detecten de manera simultánea el desplazamiento del carro sobre el banco.

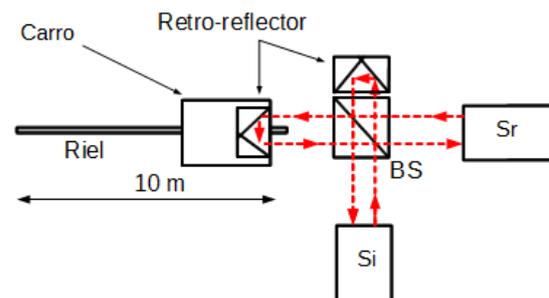


Figura 2: Vista aérea del arreglo experimental utilizado. Sr: Láser de referencia; Si: láser bajo calibración; BS: divisor de haz.

Condiciones de medición

Las centrales meteorológicas de ambos equipos deben estar cerca y en contacto térmico. Los sensores de temperatura de ambos láseres se deben posicionar apareados a lo largo del banco de trabajo. Es muy importante contar con un bajo gradiente de temperatura temporal y espacial durante la medición. Ambos equipos se deben configurar con coeficiente de expansión $\alpha = 0$ ppm/ °C.

MEDICIÓN

El desplazamiento del carro una distancia ΔL se traduce en una lectura $\Delta L_r = \Delta L_i$, dónde ΔL_r y ΔL_i son el desplazamiento medido por el sistema S_r y S_i respectivamente.

El error de las lecturas de S_i para ΔL que van de 0 m a 10 m está dado por

$$\text{error} = \Delta L_i - \Delta L_r$$

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

En esta medición existen tres fuentes principales de incertidumbre que corresponden a: el sistema láser de referencia, al índice de refracción del aire y a la estadística de las mediciones (en caso de haberse realizado más de una medición para cada distancia).

Aportes tipo B

Asociado a la longitud de onda de referencia

La longitud de onda promedio del láser de referencia según su certificado de calibración es $(\bar{\lambda} \pm u(\bar{\lambda})_{k=2})$. Dado que no se puede modificar la longitud de onda del láser en el sistema, se considera un error relativo de $\bar{\lambda}$ como la diferencia relativa del valor cargado en el sistema según el manual y el $\bar{\lambda}$ como:

$$Er(\lambda) = \frac{\bar{\lambda} - \lambda_{cargado}}{\lambda_{cargado}} = 5,38 \times 10^{-8}$$

La desviación de Allan relativa de la frecuencia del láser (calculado como la raíz cuadrada de la varianza de Allan) es 5×10^{-11} .

La incertidumbre relativa total asociada a la longitud de onda del láser se obtiene entonces como

$$u(\bar{\lambda})_{rel} = \sqrt{(Er(\lambda))^2 + \left(\frac{\partial Er(\lambda) u(\bar{\lambda})_{k=2}}{\partial \bar{\lambda}}\right)^2 + (desv Allan)^2}$$

$$u(\bar{\lambda})_{rel} \simeq 5,38 \times 10^{-8}$$

Asociado al índice de refracción del aire

El índice de refracción "n" del aire está ligado al valor de la presión atmosférica, la humedad relativa y la temperatura del ambiente. Es importante minimizar el gradiente temporal y espacial de las condiciones ambientales ya que el cálculo del "n" luego repercutirá en el cálculo del ΔL . Para estimar el aporte a la incertidumbre debida al "n", se estima la variación del mismo al variar las condiciones ambientales utilizando la fórmula de Edlen^[1]. Para ello se mide el gradiente total para cada una de las variables "w" y se calcula la variación del "n" al cambiar los parámetros de manera individual. Se obtiene un n_{max}^w y un n_{min}^w para cada variable y, suponiendo una

distribución rectangular, se calcula $\Delta n^w = (n_{max}^w - n_{min}^w) / \sqrt{12}$. Se estima el aporte total como $\Delta n = \sqrt{\sum_{w=1}^3 (\Delta n^w)^2}$. Finalmente para cada punto de medición ΔL , el aporte debido al índice de refracción será $u(n) = \Delta n \Delta L$.

Aportes tipo A

Asociado a la dispersión de las mediciones

En caso de tener n_j mediciones para un punto j se informará el promedio de los errores en ese punto como $\overline{\text{error}}_j = [\sum_{i=1}^{n_j} (\Delta L_{ij} - \Delta L_{rj})] / n_j$. La desviación estándar para cada punto de medición estará dado por la ecuación

$$s_j = \sqrt{[\sum_{i=1}^{n_j} (\text{error}_{ji} - \overline{\text{error}}_j)^2] / (n_j - 1)}$$

Una vez obtenido el s_j se divide por el valor ΔL_{rj} para el punto j obteniendo un desvío estándar relativo a la distancia medida. De esta manera queda una expresión adimensional $s_j^A = s_j / \Delta L_{rj}$.

Una estimación ponderada de la desviación estándar basada en k series de observaciones independientes de la misma variable aleatoria es^[2] $(s_p^A)^2 = [\sum_{j=1}^k v_j (s_j^A)^2] / \sum_{j=1}^k v_j$, dónde $(s_j^A)^2$ es la varianza experimental de la k-ésima serie de n_j mediciones, siendo $v_j = (n_j - 1)$ el número de grados de libertad.

Si se realizaron la misma cantidad de mediciones n_j para todos los puntos j , la expresión anterior se reduce a $(s_p^A)^2 = [\sum_{j=1}^k (s_j^A)^2] / k$. La contribución estadística en un punto j de la escala estará dada por $u_{estadística} = s_p^A \cdot \Delta L_{rj}$

CONCLUSIONES

Se estableció un procedimiento para la calibración de la escala lineal de medición de distancias de láseres interferométricos. El procedimiento permite determinar el error de medición del sistema con una incertidumbre que dependerá de la estabilidad y repetibilidad del sistema bajo calibración. La mejor incertidumbre relativa que permite alcanzar el sistema de medición es de 7×10^{-7} con un factor de cobertura $K = 1$.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] K. P. Birch and M. J. Downs, "An Updated Edlén Equation for the Refractive Index of Air", *Metologia*, 30, 1993, 155-169.
 [2] Guía para la expresión de la incertidumbre de medición, 23ra edición, Traducción INTI-CEFIS, del documento Guide to Expression of Uncertainty in Measurements (BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993