

ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRES EN EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES, ASOCIADA A LA MEDICIÓN INTERFEROMÉTRICA DE DESVÍO DE PLANITUD

F.YAPUR, L.ALVAREZ, K. BASTIDA

INTI-Física y Metrología
e-mail: fyapur@inti.gob.ar

I. INTRODUCCIÓN

La medición del desvío en planitud de una superficie es de suma importancia en la calidad de fabricación de espejos, lentes, fibras ópticas, micrómetros, etc y numerosas ramas de la industria necesitan de estos insumos. Por lo tanto una de las líneas de trabajo dentro de INTI - Física y Metrología, es la medición del desvío en planitud y la calibración de Planos Ópticos, así como también el desarrollo de ciencia y tecnología aplicada a esta área de la óptica.

Existen varios métodos para la calibración de planos ópticos, pero solo nos centraremos en uno de ellos. Este método utiliza un plano óptico de referencia y un interferómetro de Fizeau para realizar la medición.

Descripción del interferómetro de Fizeau

El dispositivo usado en este trabajo para medir el desvío en planitud (ξ) es un interferómetro de Fizeau⁽¹⁾, como el que se esquematiza en la Figura 1.

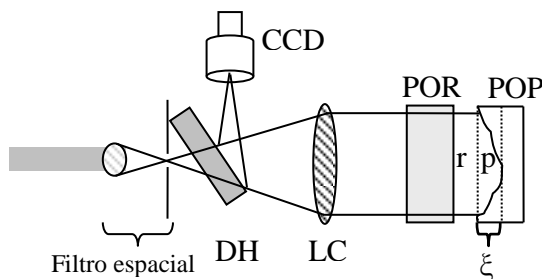


Figura 1. Esquema del interferómetro de Fizeau, donde r es la superficie de referencia, p es la superficie a calibrar, ξ es el desvío en planitud, DH divisor de haz, LC lente colimadora, POR plano óptico referencia, POP plano óptico de prueba, CCD cámara.

La fuente de luz utilizada es un láser He-Ne de 2 mW de potencia y 632,82 nm de longitud de onda. Se hace pasar al haz por un filtro espacial, formado por un objetivo de microscopio de 4 mm de foco y un pinhole de 10 μ m de diámetro. Luego el haz filtrado pasa por una lente colimadora de 250 mm de foco, que forma un sistema confocal con el objetivo de microscopio. El haz sale paralelo y se refleja en los cristales ópticos. Estos están montados sobre soportes con tornillos de paso fino. Este montaje permite alinear las dos superficies, de tal manera que las reflexiones en la segunda cara del plano óptico de referencia (POR) y en la primera cara del plano óptico de prueba (POP) coincidan, para luego se dirigidas mediante un divisor de haz a una cámara CCD de 1396x1040 pixeles.

Modelo matemático

La medición del desvío en planitud viene dada por una comparación entre una superficie de referencia, idealmente plana, y la superficie de prueba cuyo desvío en planitud es mayor. La información es registrada por la cámara CCD como intensidad luminosa, este registro es el interferograma. Las diferencias de caminos ópticos (DCO) entre las dos caras generan las franjas de interferencias. Por lo tanto dentro del interferograma esta la información del desvío de una superficie con respecto a la otra.

Mediante la teoría⁽¹⁾ llegamos a la siguiente ecuación Ec.(1), de la cual podemos obtener el desvío en planitud de la superficie de prueba mediante el análisis del interferograma, donde esta involucrada la interfranja (I) que es la distancia entre centros de franjas, la flecha (F) o cuerda que es el máximo apartamiento de una franja con respecto a la vertical y la longitud de onda del láser (λ).

$$\xi = \frac{F}{I} \frac{\lambda}{2} = m \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Método de Monte Carlo

Para evaluar las incertidumbres asociadas al procesamiento digital de imágenes se decidió trabajar con un método de simulación numérica llamado Monte Carlo⁽²⁾, este método consiste en identificar las variables que participan del modelo, en este caso m y λ . Luego realizar una serie de n mediciones de cada variable (m_n , λ_n). Se obtienen en ambos casos, las distribuciones, valores medios y desviaciones estándar, luego se generan numéricamente dos series de N ($N \gg n$) datos (m_N , λ_N) que responden a las distribuciones medidas, estos datos se ingresan en el modelo y se obtienen N resultados (ξ_N) con los cuales se realiza un histograma, de ahí obtenemos la desviación estándar del método de medición.

II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El interferómetro fue montado en una mesa antivibratoria. Una vez alineado se realizaron pruebas de estabilidad en función de la temperatura, presión y humedad. Se concluyó que las variaciones en temperatura eran la principal causa de inestabilidad, por lo tanto se optó por trabajar en un rango de temperatura de $20,2 \pm 0,5$ °C. Se estudió la estabilidad temporal de láser mediante varianza de Allan⁽³⁾, y se fijó un intervalo de 60 s para adquirir las imágenes.

Se midió la longitud de onda del láser usado mediante un método de batidos⁽⁴⁾ y se obtuvo $\lambda = 632,82 \pm 0,01$ nm.

Se eligieron dos cristales de interferencia calibrados en el PTB contra un espejo de mercurio. Según los certificados, se eligió el plano óptico de menor desvío como plano de referencia, asimismo el de mayor desvío se tomó como cristal de prueba. Una vez montados los planos ópticos y alineados se tomaron a lo largo de 3 días 1200 interferogramas divididos en 4 series de 300, cada serie con distinta cantidad de franjas: 4, 7, 9 y 12.

Procesamiento digital de imágenes

El análisis de las secuencias de interferogramas se realizó mediante un algoritmo de procesamiento digital de imágenes el cual fue exclusivamente diseñado para este trabajo, bajo entorno Visual Basic. A partir de este procesamiento se obtienen F e I en forma automática para cada serie de interferogramas.

El algoritmo es el siguiente: Primero se aplica un filtro mediante transformada de Fourier, luego se binariza la imagen y se rota hasta que las franjas queden perpendiculares a la horizontal, se encuentran los centros de las franjas y los puntos mas alejados de la vertical. Por último se calcula F e I.

Los resultados de las mediciones de λ y m se pueden ver en la tabla 1.

Tabla 1: Resultado de mediciones experimentales de λ y m .

	Nº de mediciones	Distribución	Valor medio e incertidumbre
λ	65000	rectangular	$\langle \lambda \rangle = 632,82$ nm $\sigma_\lambda = 0,01$ nm
m	1200	Normal	$\langle m \rangle = 0,20$ $\sigma_m = 0,03$

III. RESULTADOS

Desvío en planitud

La determinación del desvío en planitud en este caso se obtiene de la pendiente del ajuste lineal de la Ec 1. La evaluación de la incertidumbre se realiza siguiendo la ley de propagación de incertidumbres que establece la GUM⁽⁵⁾ (Guide to the expression of uncertainty in measurement), con lo cual se obtiene una incertidumbre asociada al procesamiento de 6 nm para un factor de cobertura $k=1$. Por lo tanto sumando en cuadratura la incertidumbre asociada al plano óptico patrón informada por su certificado de 10 nm, se tiene que $\xi_p = (70 \pm 24)$ nm para $k=2$.

Estimación de incertidumbres mediante Monte Carlo

Con los datos experimentales de m y λ que se muestran en la tabla 1 se realizaron en entorno MATLAB dos simulaciones numéricas (con sus

respectivas distribuciones) con un muestreo de 10^5 para cada una. Luego mediante la Ec 1. se obtuvieron los valores del desvío y se realizó un histograma del cual se obtiene una incertidumbre de 9 nm para $k=1$. Sumando en cuadratura la incertidumbre del plano óptico patrón de 10 nm, se tiene que el desvío calculado mediante Monte Carlo es $\xi_p = (64 \pm 26)$ nm para $k=2$.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se montó y alineó un interferómetro de Fizeau. Esto permitió el registro de interferogramas con nitidez, contraste y resolución necesaria para su posterior procesamiento. Así mismo, se desarrolló un algoritmo que permitió automatizar el procesamiento digital de imágenes, y así obtener el desvío en planitud.

Con el objetivo de validar mediante el Método de Monte Carlo el modelo matemático utilizado, se realizó un estudio estadístico de las variables de influencia, a fin de conocer sus distribuciones de probabilidad. El resultado obtenido por el método de Monte Carlo para el cálculo de la incertidumbre asociada al procesamiento digital de imágenes, es consistente con lo obtenido siguiendo los lineamientos de la GUM. Esto valida el modelo empleado para la determinación del desvío en planitud.

Como corolario de este trabajo, se han verificado las superficies patrón que se utilizan actualmente en INTI-Física y Metrología para la calibración del desvío en planitud, lo que permite extender su período de calibración. Esto forma parte del plan de mantenimiento de patrones que realiza INTI – Física y Metrología.

V. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la colaboración en este trabajo a todos los compañeros de Física y Metrología en especial a la UT-Óptica, así como también a E. Scatena, D. Luna, A. Zinzallari y M. Nicola.

VI. REFERENCIAS

- Mingolla G., Alvarez J., Bastida K. (2008). Calibración de frecuencias ópticas por sistemas de batidos. Anales AFA, 20, 48-52.
- Daniel Malacara, (2007). Optical Shop Testing, Wiley & Sons, Inc., Publication. New Jersey.
- W. J. Riley, (2008). Handbook of Frequency Stability Analysis. Nist Special Publication. 1065.
- JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement.
- JCGM 101:2008 Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the GUM – Propagation of distributions using Monte Carlo method.