

CARACTERIZACIÓN Y BALANCE DE INCERTIDUMBRE DE UN PERFILÓMETRO CON PALPADOR INDUCTIVO PARA MEDICIÓN DE ACABADO SUPERFICIAL.

Colín Castellanos, Carlos
Centro Nacional de Metrología - CENAM
km 4,5 Carretera a los Cues, 76241 El Marqués, Querétaro, México.
(442) 211-0500 Ext. 3287, ccolin@cenam.mx

Resumen: Se presenta una metodología para determinar las características metroológicas de un perfilómetro con palpador inductivo, empleando una esfera de carburo de tungsteno para determinar las correcciones de la ganancia electrónica (calibración del eje Z), un plano óptico para determinar el ruido ambiental y la rectitud de las guías, un interferómetro láser para calibrar la escala en X (unidad de recorrido), una balanza para la fuerza de contacto del palpador y patrones de rugosidad aleatorios y periódicos, para evaluar el funcionamiento global del perfilómetro una vez calibrado, así mismo, la estimación de la incertidumbre de calibración de patrones de rugosidad.

1. INTRODUCCIÓN

La tarea fundamental del acabado superficial es cuantificar las características de una superficie poniéndole un número, a través del uso de algún método de medición. El método de medición mas ampliamente utilizado en la actualidad es el de contacto, por lo que este trabajo se enfoca a presentar las características metroológicas que deben ser controladas en un instrumento de este tipo.

La pregunta obligada es: ¿Porque nos interesa el acabado superficial? La estadística ha demostrado que cerca del 90 % de los componentes de mecanismos mecánicos inician su falla en la superficie, esto es a través de la fatiga, la corrosión, el desgaste por rozamiento, la erosión, etc. Por esta razón, es importante entender y conocer las propiedades de las superficies; dentro de estas se encuentra el acabado superficial, por lo que es fundamental tener la instrumentación adecuada y trazable a patrones primarios con la finalidad de garantizar el aseguramiento metroológico de los resultados de medición de la rugosidad.

2. CALIBRACIÓN DEL PERFILÓMETRO (Instrumento de palpador, ver figura 1)

Para el aseguramiento metroológico en la medición del acabado superficial es necesario calibrar¹ el

instrumento. En el CENAM contamos con un perfilómetro con palpador inductivo, alcance de medición en el eje X de 120 mm y 1 mm en el eje Z, con tres resoluciones en función del intervalo de medición: 16 nm @ 1 mm; 3 nm @ 0,2 mm y 0,6 mm @ 0,04 mm.

Antes de iniciar la calibración del instrumento se debe verificar que opere correctamente, tal como lo describe el manual de operación del fabricante. También debemos verificar el estado físico de la punta del palpador, esto se realiza con ayuda de un microscopio.

Fuerza de medición.

Para determinar la fuerza de medición estática y dinámica del palpador se utilizó una balanza.

Calibración del eje X.

Para la calibración del eje X se utilizó el método de calibración de escalas lineales con un interferómetro láser HP 5519B y arreglo óptico lineal. Se compararon directamente las lecturas del perfilómetro contra las del interferómetro, estas últimas compensadas por diferencia de temperatura, índice de refracción del aire y camino muerto (variación en las condiciones ambientales: temperatura, humedad y presión barométrica).

¹ Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por el

perfilómetro y los valores correspondientes de la unidad de longitud realizados por los patrones.



Figura 1. Perfilómetro Form Talysurf.

La importancia de la calibración de este eje se ve reflejada en la longitud de corte (cut-off - λ_c), la longitud de muestreo (l_n) y el cálculo de parámetros de espaciado (RSm o RS, etc). Con la finalidad de cuantificar el error de indicación de la componente horizontal del perfil se emplea un patrón de rugosidad tipo C midiendo el parámetro RSm.

Calibración del eje Z.

Antes de realizar la calibración del palpador, es necesario de vez en cuando ejecutar un procedimiento automático que prueba las características eléctricas del palpador ajustando sus características resistivas e inductivas (*operación de llevar el palpador a un estado de funcionamiento conveniente para su empleo*) con la electrónica del sistema.

Para la calibración del eje Z se utiliza una esfera de carburo de tungsteno con radio conocido. Con ésta calibración se determinan los factores de corrección debidos a la geometría del palpador y su movimiento arqueado.

Rectitud de las guías.

Para determinar la rectitud de las guías del perfilómetro se utilizó un plano óptico el cual fue medido en la misma posición 10 veces, se calculó el perfil promedio y se obtuvo la diferencia entre cada una de las mediciones individuales y el promedio, la rectitud será el ancho de banda de los residuales de las diez mediciones.

Ruido ambiental.

Al igual que la rectitud, el ruido ambiental se determina con un plano óptico, la diferencia estriba en que las diez mediciones ahora se realizan en posiciones aleatorias sobre el plano óptico. Cabe aclarar que el ruido engloba todos los errores aleatorios que ocurren durante una medición de rugosidad con un instrumento de palpador. Dentro de estos errores se encuentran las vibraciones mecánicas, electromagnéticas, las inducidas por el sistema de aire acondicionado y las acústicas, entre otras.

Funcionamiento global del instrumento.

Para llevar a cabo esta prueba se utilizan por lo menos tres patrones de rugosidad aleatoria (tipo D, de acuerdo a ISO 5436), midiéndose los parámetros Ra, Rz y Ry.

3. RESULTADOS

3.1. Fuerza de medición.

La balanza para pesar de tipo electrónico con división mínima de 0,001 g fue calibrada en el laboratorio de acabado superficial con un juego de pesas con certificado de calibración del año 2003. La fuerza estática se registró poniendo en contacto la punta del palpador con la balanza. Para la fuerza dinámica, se puso el palpador en contacto y se midió una longitud de 4 mm sobre el plato. Se observó que en todos los casos el valor indicado fue inferior a la fuerza estática.

Los resultados de la fuerza estática para tres diferentes palpadores fueron:

Palpador estándar # 1:	52 mg \pm 2 mg
Palpador estándar # 2 :	115 mg \pm 2 mg
Toroidal:	65 mg \pm 2 mg

El palpador utilizado para el resto de las pruebas es el estándar # 1.

3.2. Calibración del eje X.

Se calibró toda la escala con alcance de medición de 120 mm, encontrándose una desviación máxima de 3 μ m. Es pertinente mencionar que los patrones de rugosidad son materiales de referencia con dimensiones máximas de 40 mm x 40 mm, sin embargo, la longitud de evaluación máxima

(valores normalizados en ISO 4288) puede ser 12,5 mm, por lo cual se decidió realizar una calibración parcial en el intervalo de 40 mm a 80 mm obteniendo una desviación máxima de 1 µm.

La verificación de la componente horizontal del perfil se realizó midiendo 12 veces, sobre un patrón de rugosidad tipo C1, el parámetro RSm (valor nominal de 79,95 µm), distribuidas sobre toda la superficie. El valor promedio de las doce mediciones fue de 79,96 µm con una desviación estándar de 0,02 µm, adicionalmente a lo anterior se midió una regla de vidrio con división mínima de 1 mm, en el intervalo entre 40 mm y 80 mm. No se obtuvo desviación con respecto a los resultados de calibración de la regla.

3.3. Calibración del eje Z.

Para la calibración de la componente vertical del sistema de coordenadas del perfil se utilizó la esfera de carburo de tungsteno con radio de 12,498 75 mm obteniendo como resultado un radio de 12,498 6 mm y un Pt de 121,5 nm. Con estos valores de calibración, el software del instrumento determina los 7 factores de corrección empleados en el polinomio de corrección para el cálculo de los parámetros de rugosidad.

Una vez realizada la calibración del eje Z, para verificar que el instrumento está midiendo adecuadamente la componente vertical del perfil de evaluación, se utilizan dos patrones de escalón con certificado de calibración (6 y 3 escalones c/u) y se determina la desviación que existe entre el valor reportado en el certificado de calibración (Valor de calibración) y el valor medido por el instrumento (Valor medido). La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

Tabla 1. Valores de los escalones medidos.

Escalón No.	Valor de calibración µm	Valor medido µm	Desviación (medido – calibración) nm
1	0,029	0,031	2
2	0,207	0,206	- 1
3	0,381	0,375	- 6
4	0,414	0,413	- 1
5	1,255	1,260	5
6	2,541	2,530	-11
7	2,839	2,855	16
8	5,680	5,693	13
9	8,773	8,774	1

3.4. Rectitud de guías.

Una vez analizados y procesados en una hoja de cálculo los resultados de las diez mediciones sobre el plano óptico, en la misma posición, el ancho de banda de los puntos residuales nos indican un valor aproximado de 25 nm, que representa la rectitud de las guías, esto se muestra en la figura 2.

3.5. Ruido ambiental.

Al igual que para la determinación de la rectitud de las guías después del análisis y procesamiento de

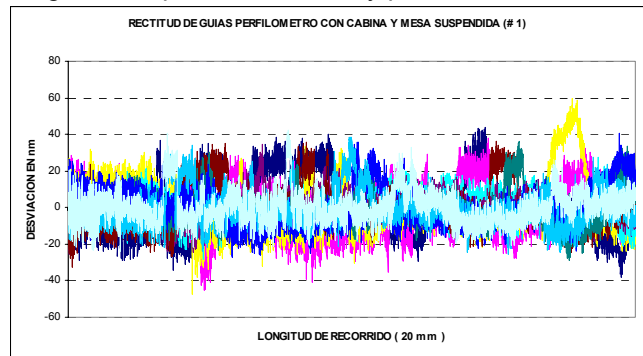


Figura 2. Rectitud de guías.

resultados, el ancho de banda de los residuales graficados se muestran en la figura 3, y el ruido ambiental del perfilómetro es de 30 nm.

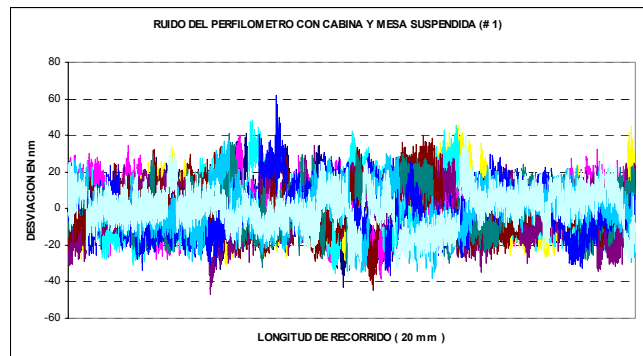


Figura 3. Ruido ambiental.

3.6. Funcionamiento global del instrumento.

Para la verificación del funcionamiento global del instrumento se utilizaron 3 patrones de rugosidad tipo D, los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de los patrones de rugosidad medidos.

Parámetro	Valor de calibración μm	Valor medido μm	Desviación (medido – calibración) nm
Ra	0,163	0,162	- 1
Rz	1,490	1,483	- 7
Ry	1,680	1,697	17
Ra	0,488	0,486	- 2
Rz	2,740	2,745	5
Ry	3,180	3,179	-1
Ra	1,437	1,435	- 2
Rz	7,050	7,054	4
Ry	8,520	8,540	20

4. INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE PATRONES DE RUGOSIDAD.

El modelo que define la medición del acabado superficial esta dado por la expresión:

$$P = k * A_p * F_w * F_t * [Z_m(x) + Z_{ref}(x) + Z_n(x) + Z_{pl}(x)]$$

La estimación de incertidumbre se simplifica empleando incertidumbres relativas, por lo que la incertidumbre estándar combinada para patrones de rugosidad es:

$$u^2(p) = u^2(k) + u^2(A_p) + u^2(F_w) + u^2(F_t) + u^2(Z_m) + u^2(Z_{ref}) + u^2(Z_n) + u^2(Z_{pl})$$

donde:

- u (k) Incertidumbre estándar del factor de calibración
- u (Ap) Incertidumbre estándar del algoritmo para parámetros P
- u(Fw) Incertidumbre estándar de la función del filtro
- u(Ft) Incertidumbre estándar por la geometría del palpador
- u (Zm) Incertidumbre estándar del perfil de medición
- u (Zref) Incertidumbre estándar del plano de referencia en el eje X
- u(Zn) Incertidumbre estándar por ruido ambiental
- u(Zpl) Incertidumbre estándar por deformación plástica

El balance de incertidumbre para un patrón de rugosidad con valor nominal de 0,43 μm se muestra en la siguiente tabla:

Nº	Magnitud de entrada Fuente de incertidumbre	Fuente de información	Incertidumbre original nm	Tipo de distribución	Incertidumbre estándar (%) $u(x_i)$	Coficiente de sensibilidad	Contribución (%) $u_i^2(y)$
1	Factor de calibración				0,01220	1	0,0001
1.1	Patrón	certificado	8,6	normal	<i>4,30000</i>	1	
1.2	Palpación	mediciones	3	gauss	<i>3,00000</i>	1	
1.3	Posición de medición	mediciones	0,21	rectangular	<i>0,12259</i>	1	
2	Algoritmo de evaluación	mediciones	1	rectangular	0,00134	1	0,0000
3	Algoritmo del filtro				0,00692	1	0,0000
3.1	Filtro de onda λ_c	PTB	2,5	rectangular	<i>0,72169</i>	1	
3.2	Filtro de onda λ_s	PTB	10	rectangular	<i>2,88675</i>	1	
4	Geometría de la punta	Catálogo	20	rectangular	0,01343	1	0,0002
5	Perfil de medición (dispersión)	mediciones	14,2	gauss	0,00496	1	0,0000
6	Plano de referencia (guía)	mediciones	0	rectangular	0,00000	1	0,0000
7	Ruido ambiental	mediciones	30	rectangular	0,02014	1	0,0004
8	Deformación plástica	PTB	10	rectangular	0,00671	1	0,0000
	INCERTIDUMBRE ESTANDAR COMBINADA (relativa)						0,0292
	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA en nm (k = 2)						25,1

Tabla 3. Balance de incertidumbre

Nota: En la columna de incertidumbre estándar los valores con letras itálicas están en nanómetros

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la calibración del perfilómetro son adecuados para el uso propuesto.

La confirmación de dichos resultados se ve reflejado en la reciente comparación de patrones de rugosidad y escalones (SIM 4.8: International comparison of surface roughness and step height standards), donde los resultados fueron satisfactorios (en fechas próximas serán publicados dichos resultados).

Se recomienda como trabajo a futuro realizar una serie de experimentos para determinar el % en que afecta al cálculo de los parámetros de rugosidad la incertidumbre de calibración de la esfera de carburo de tungsteno.

También se propone evaluar el ruido ambiental y los resultados al medir diferentes patrones de rugosidad colocando una cubierta al perfilómetro.

AGRADECIMIENTOS

Para Alfonso Castillo Matadamas y Luis Manuel Ramírez Muñoz por el apoyo en la calibración del eje X y la fuerza de medición de los palpadores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Haitjema, Uncertainty analysis of roughness standard calibration using stylus instruments, Precision Engineering, Vol. 22 No. 2, 1998, 110-119
- [2] ISO 12179:2000, Calibration of contact (stylus) instruments.
- [3] ISO 4288:1996, Rules and procedures for the assessment of surface texture.
- [4] ISO 5436-1:2000, Measurement standards.