

TRAZABILIDAD Y CARACTERIZACIÓN DIMENSIONAL UTILIZANDO LA MICROSCOPIA CONFOCAL

Orlando Guarneros¹, Jesús de Vicente², José Luis Ocaña³, Miguel Holgado³, Carlos Molpeceres³ Juan José García-Ballesteros³

(1) Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. Área de mecánica y eléctrica
Dr. Manuel Nava No.8, C.P.: 78290, San Luis Potosí, SLP. Teléfono: (+52) 444 8262330
e-mail: orlando.guarneros@uaslp.mx

(2) Laboratorio de Metrología y Metrotecnia, Departamento de Física Aplicada, Universidad Politécnica de Madrid, c/ José Gutiérrez Abascal No. 2, C.P. 28006 Madrid

(3) Centro Láser, Departamento de Física Aplicada, Universidad Politécnica de Madrid. Edificio Tecnológico "La Arboleda", Campus Sur UPM, carretera de Valencia km. 7,300, C.P. 28031 Madrid

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de fabricar piezas micrométricas son una exigencia en diferentes ramos de la industria y la investigación, por ello en la medida en la cual la tecnología avanza las herramientas utilizadas para verificar sus magnitudes van en aumento, y las técnicas utilizadas son muy variadas. La microscopía ha tenido que superar diversos obstáculos para ser considerada un equipo de medición en metrología dimensional; y un ejemplo de ello sería su uso en un principio tan sólo como un visor de forma de los objetos o inclusive de color (en aplicaciones p. ejem. biológicas), por lo tanto para dar credibilidad a sus mediciones longitudinales fue necesario visualizar materiales de referencia y estudiar los efectos ópticos que pudieran afectar sus caracterizaciones dimensionales (aberraciones, enfoque, etc.)

Cierta parte de la industria elabora productos cuyo control de calidad se basa en la medición de parámetros complejos, muchos de estos parámetros actualmente son medidos por instrumentos sofisticados [1], como lo sería la microscopía confocal, cuyos orígenes se remontan a la observación de diminutos seres vivos. La idea tan sencilla de ir restringiendo la iluminación del espécimen a sólo un punto (o una serie de puntos) y escanearlo para producir una imagen completa, así como insertar una apertura en el sistema óptico, origina que físicamente se previene la luz emanada de las regiones por arriba y por debajo del plano focal contribuyendo a la obtención de una mejor imagen [2].

Algunos centros de investigación como lo sería el caso del Centro Láser de la Universidad Politécnica de Madrid llevan a cabo micromecanizados como el mostrado en la figura No.1 en la cual se observa una perforación en aluminio, y se desea determinar

su diámetro, mediante la aplicación de la técnica en cuestión, para ello sólo bastará con el uso del software que acompaña el equipo y obtener la magnitud deseada.

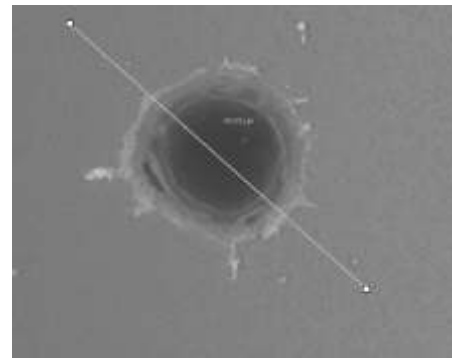


Fig. 1 Perforación en aluminio.

Más aún en la figura 2, muestra como con el microscopio confocal el formato de la imagen se ha digitalizado en 3D y tiene la gran ventaja de que su información permite realizar un seccionamiento y determinar las magnitudes de la deformación, así como una variedad de ventajas que la digitalización permite.

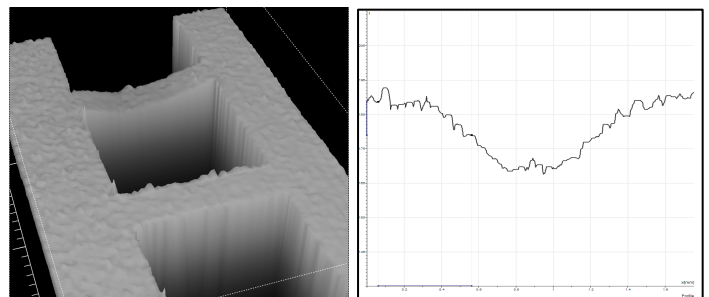


Fig. 2 Imagen en 3D obtenida con el microscopio confocal

Por lo tanto el microscopio confocal ha demostrado su versatilidad y la capacidad de obtener valores de interés para el usuario, tal ha sido el éxito de su uso

que algunas marcas fabrican este tipo de microscopios con el fin de obtener dimensiones longitudinales, más sin embargo la duda que se genera es saber si efectivamente se puede garantizar la fiabilidad de su información y estimar su incertidumbre. Especialmente la trazabilidad de las mediciones está siendo un importante factor para los sistemas de calidad, aún cuando de manera muy general no se encuentran suficientemente garantizados [3].

1.1 Características del equipo

El equipo utilizado para el desarrollo del presente trabajo es el siguiente:

Microscopio Confocal (MC), marca Leica, modelo ICM 1000 y DML, número de serie 20002000003, número de identificación CL-EQ- MC-01. Cada objetivo cuenta con 7 ampliaciones que son: 1x, 2x, 3x, 4x, 5x, 6x y 8x [4]. Los objetivos a evaluar son: 5 x / 0,12 - 10 x / 0,25 - 20 x / 0,40 - 50 x / 0,50 - 50 x / 0,75 y 100 x / 0,9.

2. METODOLOGÍA PARA LA CALIBRACIÓN

Para dar inicio a la calibración de los ejes x e y, es importante comprender el proceso para la realización de los experimentos con los cuales se cuantificará su incertidumbre, y para organizar la realización de los ensayos, será necesario consultar la tabla 1, cuyos componentes se describen a continuación:

que se deberá aplicar al ensayo, el zoom va del 1 al 8 pero sin considerar el 7.

- 3) Ahora será necesario identificar las características del patrón y del campo de medida a evaluar, es decir adecuar parte de la estructura del patrón a lo largo de los límites de la imagen procesada, cuyas columnas se dividen principalmente en 4 partes, donde se asociará con el alcance del patrón sobre el eje x, el eje y y en las direcciones a 45° y a 135° respectivamente, evidentemente el campo de medida a evaluar será más pequeño.
- 4) Se dispondrán de 4 direcciones (P₁, P₂, P₃ y P₄), que respetarán la asignación numérica mostrada en la figura 3.
- 5) En la columna denominada patrón se define el valor nominal con el cual dispone el material de referencia, y que dependerá de las características descritas en la tabla 2.

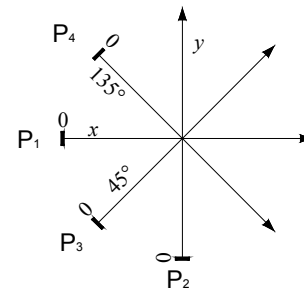


Fig. 3 Dirección de las mediciones en los patrones.

Campo de medida (µm)	Objetivo						Campo de medida a evaluar y datos del patrón												
	5x	10x	20x	50x	50x	100x	x (µm)		y (µm)		45°-135° (µm)		45°-135° (µm)		45°-135° (µm)				
	Apertura numérica						P ₁	No. Ptos	Intervalo (µm)	P ₂	No. Ptos	Intervalo (µm)	P ₃₋₄	No. Ptos	Intervalo (µm)				
	0,12	0,25	0,4	0,5	0,75	0,9													
1	2000	1600	1				1000	10	10	100	1000	10	10	100	1000	10	10	100	
2	1000	800	2	1			900	10	10	90	700	10	10	70	1000	10	10	100	
3	666,7	533,3	3				600	10	10	60	500	10	10	50	600	10	10	60	
4	500	400	4	2	1		400	10	10	40	300	10	10	30	400	10	10	40	
5	400	320	5				300	10	10	30	300	10	10	30	300	10	10	30	
6	333,3	266,7	6	3			300	10	10	30	200	10	10	20	200	10	10	20	
7	250	200	8	4	2		200	10	10	20	150	10	15	10	150	10	15	10	
8	200	160		5		1	150	10	15	10	150	10	15	10	150	10	15	10	
9	166,7	133,3		6	3		150	10	15	10	100	10	10	10	100	10	10	10	
10	125	100		8	4		100	10	10	10	90	10	9	10	90	10	9	10	
11	100	80		5	2	2	90	3	10	9	60	3	10	6	60	3	10	6	
12	83,3	66,6		6			60	3	10	6	60	3	10	6	60	3	10	6	
13	63,3	50		8			50	5	10	5	45	5	9	5	45	5	9	5	
14	66,7	53,3		3	3		50	5	10	5	50	5	10	5	50	5	10	5	
15	50	40		4	4	2	45	3	15	3	30	3	10	3	30	3	10	3	
16	40	32		5	5		36	1,8	10	3,6	27	1,8	15	1,8	27	1,8	15	1,8	
17	33,3	26,7		6	6	3	27	1,8	15	1,8	21,6	1,8	12	1,8	21,6	1,8	12	1,8	
18	25	20		8	8	4	18	1,8	10	1,8	18	1,8	10	1,8	18	1,8	10	1,8	
19	20	16		5	18	10	1,8	14,4	1,8	1,8	14,4	1,8	8	1,8	14,4	1,8	8	1,8	
20	16,7	13,3		6	14,4	1,8	1,8	10,8	1,8	6	1,8	10,8	1,8	6	1,8	10,8	1,8	6	1,8
21	12,5	10		8	9	1,8	5	1,8	7,2	1,8	4	1,8	9	1,8	5	1,8	5	1,8	

Tabla 1 Características de los ensayos para realizar la calibración.

- 1) Lo primeros es identificar el campo de medida donde se efectuará la medición, es decir los límites de la imagen procesada.
- 2) Posterior a ello se deberá de seleccionar el objetivo y considerar el zoom (ampliación)

Patrón (valor nominal) µm	Descripción del Patrón
10	Patrón de trazo de vidrio, marca LMM y etiqueta con número de marcado D071/01. Campo de medida 1 mm y división de escala 0,01 mm
5	Patrón de Superficie Topográfica modelo: STS2 – 440P, con valores nominales de 1,8 µm 3 µm y 5 µm.
3	
1,8	

Tabla 2 Características de los patrones utilizados.

- 6) A continuación se especifican la cantidad de puntos, en los cuales se divide el campo de medida a evaluar, donde se harán un total de 10 repeticiones por punto.
- 7) Y finalmente el intervalo es la distancia entre los puntos de calibración.

Cada repetición determinará su magnitud con respecto a una línea de referencia, de tal modo que se comporte lo más perpendicularmente posible a dicha línea. Por lo tanto, se estará generando una cantidad de valores que dependerán del número de

puntos de calibración a evaluar descritos en la tabla No.1. La línea de referencia puede ser formada por dos puntos (para el caso del patrón de trazos de vidrio de 10 μm, ver fig. No.4) ó por diez, que serán auxiliadas por una regresión lineal que será considerada la línea de referencia (para el patrón de celdas con 1,8 μm, 3 μm y 5 μm respectivamente, ver fig. 5).

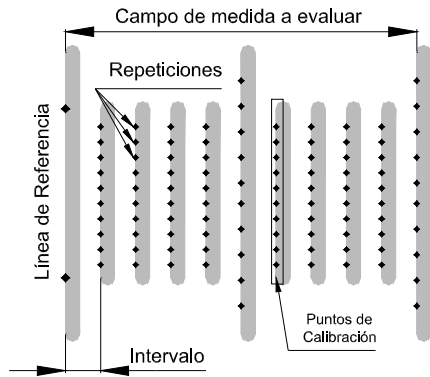


Fig. 4 Total de puntos (coordenadas) a determinar en el caso del patrón trazos de vidrio (10 μm).

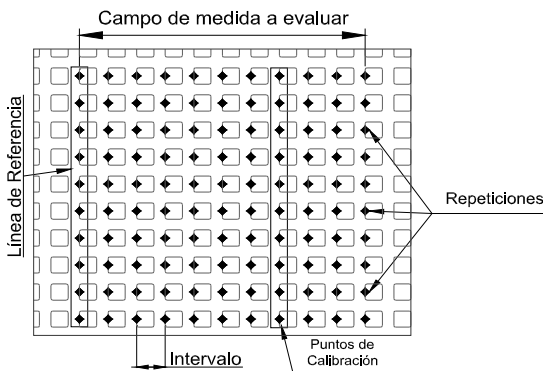


Fig. 5 Total de puntos (coordenadas) a determinar en el caso del patrón de celdas (1,8 μm, 3 μm y 5 μm).

3. RESULTADOS

La fase experimental comprende la obtención de las imágenes con la utilización del microscopio confocal a partir de los patrones descritos (ver figura 6) de tal modo que se pueda valorar dimensionalmente al equipo, mediante 4 direcciones diferentes del patrón, con sus 7 ampliificaciones (zoom), en los 6 objetivos con los que dispone actualmente el equipo, tanto en los ejes x-y (plano), de tal modo que sean procesadas 168 imágenes.

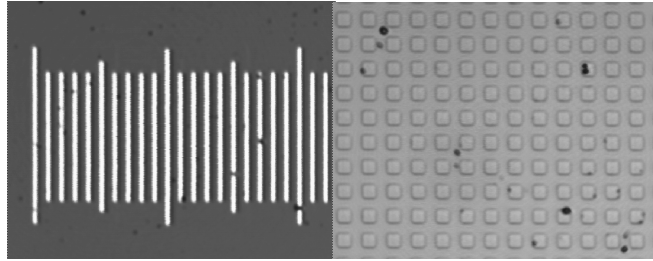


Fig.6 Imágenes obtenidas con el confocal de los patrones.

2.1 Estimación de la Incertidumbre

A continuación se detalla la estimación de la incertidumbre mediante la combinación de las contribuciones que se relacionan a continuación consideradas en [5,6] :

$$u(\bar{c}_{ci}) = \sqrt{u_{pi}^2 + u_{ci}^2 + u_{inei}^2 + u_{\theta i}^2 + u_E^2} \quad (1)$$

u_{pi} = Incertidumbre del patrón (valor certificado de los patrones).

u_{ci} = Repetibilidad.

u_{inei} = Incertidumbre por inestabilidad de los patrones.

$u_{\theta i}$ = Incertidumbre por diferencia de temperatura.

u_E = Incertidumbre por resolución del instrumento.

Para el caso de la Incertidumbre expandida será:

$$U = 2u \quad (2)$$

Si se considera que no se hacen correcciones, la incertidumbre expandida de acuerdo con el apartado F.2.4.5 de GUM [6] , $c_c = 0$ la expandida asociada es:

$$U(c_c = 0) = \max U(c_{ci}) + \max |c_{ci}| \quad (3)$$

En la realización del presente trabajo existieron condiciones donde era evidente que se podrían convertir en una fuente de incertidumbre por el tipo de imagen que se lograba al procesarlos digitalmente y cuyos efectos estaban directamente asociados con los siguientes aspectos:

- 1) La alineación de la platina.
- 2) Y las vibraciones mecánicas producto del entorno de trabajo.

Más sin embargo y después de un análisis de la situación, se sugirió el diseño y construcción de una mesa de trabajo que redujera al mínimo el efecto producido por ambas fuentes, y el resultado fue una reducción tal que el equipo ya

no era capaz de verse afectado y por lo tanto descartarlos como una contribución más a la estimación de la incertidumbre (ver fig. No. 7)



Fig.7 Mesa de trabajo diseñada para el confocal.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Análisis de la comparación de la incertidumbre, en relación a la dirección tomada en el momento de efectuar las mediciones

La información vertida en el siguiente análisis corresponden a los datos mostrados de la tabla No. 3 a la 8, de donde se puede asumir que utilizando la dirección No.1 (que está en dirección del eje x), de un total de 42 ampliificaciones con sus respectivos objetivos, el 84% de sus valores obtuvieron las incertidumbres más altas y por lo tanto sería aquella que peor cometido logra. Muy bajo es su porcentaje (2%), en relación a los ensayos con una menor incertidumbre, que sólo fue posible en 10x Z4. De lo anterior se desprende una clara tendencia a otorgar las magnitudes de las incertidumbres más altas, y por lo tanto las menos deseadas.

Destacado es el desempeño de la dirección No.2, que es la que obtuvo el mayor porcentaje (52%) de experimentos con menores incertidumbres, por lo tanto una de las más recomendables para utilizar de forma general.

En relación a la dirección No.2, la dirección No.3 es inferior, con un 31% de ensayos con menor incertidumbre, más sin embargo como segunda opción es buena considerando que ha quedado con un 43% de la incertidumbre media inferior, es decir en la penúltima mejor valorada. Nótese que en tan

sólo dos ensayos (5%) fue la que mayor incertidumbre obtuvo.

Finalmente la dirección No.4 tiene una tendencia a brindar incertidumbres mayores no tan grandes como la dirección No.1, pero con porcentajes que demuestran valores a la alza (48% en incertidumbres media superior). Es por ello que sería la tercera opción a utilizar.

Posiblemente una de las razones por las cuales se asocia la dirección a una menor incertidumbre se encuentre relacionada directamente con la forma en la cual realiza el escaneo el microscopio. Y ello ha sido más evidente al observar la calidad de las imágenes obtenidas al momento de procesar la información, por ello y siguiendo la dirección mostrada en la figura, se observa que el escaneo en la figura No.8 es un desplazamiento va de arriba hacia abajo de derecha a izquierda, por lo que se intuye que muy probablemente al generar la matriz de los códigos (y por lo tanto los colores) existirá una relación más estrecha en la generación de códigos contiguos similares, que aquellos que serán acomodados en la parte superior y sean nuevamente identificados.

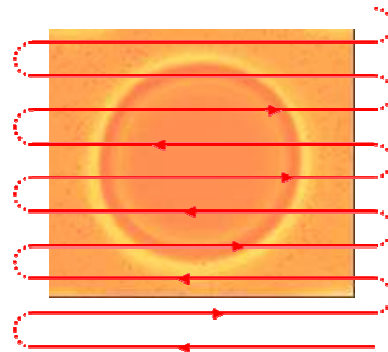


Fig. 8 Dirección del escaneo.

Resultados

Análisis de la estimación de la incertidumbre en caso de diferentes ampliificaciones (zoom), pero con el mismo objetivo

En los resultados mostrados se decidió desestimar el zoom 1 debido a que en el análisis sus resultados eran considerablemente mayores por lo que se sugirió mostrar del zoom No. 2 al No.8.

Objetivo 5x, zoom No. 2 al No. 8

La figura 9 sorprende por el efecto producido por la ampliificación (No.3) donde no respeta la condición

que relaciona una disminución de la incertidumbre con el aumento de la amplificación. Por lo tanto se sugiere para los menores valores:

- 1) Que siempre que sea posible se debería utilizar el zoom No.8 en la dirección No.2 (Z8 P2 min).

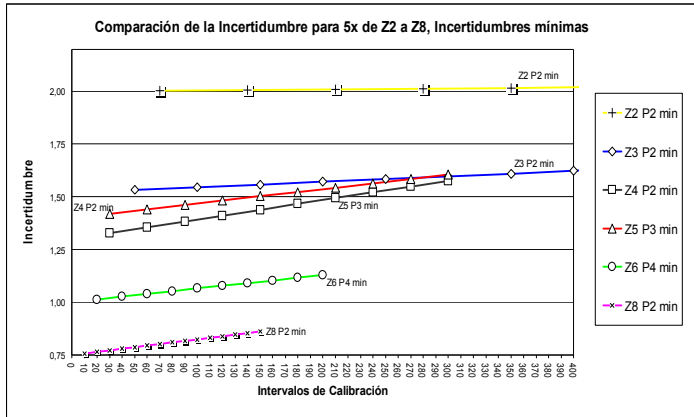


Fig. 9 Comparación de las Incertidumbres, para las amplificaciones del No.2 al No.8, en el objetivo de 5x, con las mínimas incertidumbres (μm).

Los resultados de la estimación de la incertidumbre se muestran en la siguiente tabla donde se compara el valor nominal con la incertidumbre estimada en el punto correspondiente (ver tabla No.3)

Tabla 3 Incertidumbre estimada en dependencia del valor nominal para 5x

Z2 P2 min		Z3 P2 min		Z4 P2 min	
70	2.00	50	1.53	30	1.33
140	2.01	100	1.55	60	1.36
210	2.01	150	1.56	90	1.38
280	2.01	200	1.57	120	1.41
350	2.02	250	1.58	150	1.44
420	2.02	300	1.60	180	1.47
490	2.02	350	1.61	210	1.49
560	2.03	400	1.62	240	1.52
630	2.03	450	1.64	270	1.55
700	2.04	500	1.65	300	1.58
Z5 P3 min		Z6 P4 min		Z8 P2 min	
30	1.42	20	1.01	10	0.76
60	1.44	40	1.03	20	0.76
90	1.46	60	1.04	30	0.77
120	1.48	80	1.05	40	0.78
150	1.50	100	1.07	50	0.79
180	1.52	120	1.08	60	0.79
210	1.54	140	1.09	70	0.80
240	1.56	160	1.10	80	0.81
270	1.58	180	1.12	90	0.82
300	1.61	200	1.13	100	0.82
				110	0.83
				120	0.84
				130	0.85
				140	0.85
				150	0.86

Objetivo 10x, zoom No. 2 al No. 8

Ahora con las incertidumbres mínimas (ver fig. 10 y tabla No. 4) el zoom No.4 vuelve a destacar, más sin embargo está condicionada a su número de

amplificación, el zoom No.8 en la dirección No.2, es considerada la que mejores parámetros consigue.

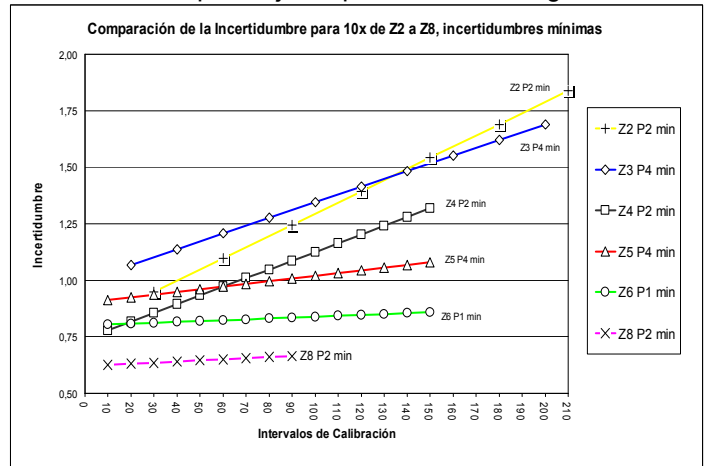


Fig. 10 Comparación de las Incertidumbres, para las amplificaciones del No.2 al No.8, en el objetivo de 10x, con las mínimas incertidumbres (μm).

Tabla 4 Incertidumbre estimada en dependencia del valor nominal para 10x.

Z2 P2 min		Z3 P4 min		Z4 P2 min	
30	0.95	20	1.07	10	0.78
60	1.10	40	1.14	20	0.82
90	1.25	60	1.21	30	0.86
120	1.39	80	1.28	40	0.89
150	1.54	100	1.34	50	0.93
180	1.69	120	1.41	60	0.97
210	1.84	140	1.48	70	1.01
240	1.99	160	1.55	80	1.05
270	2.14	180	1.62	90	1.09
300	2.28	200	1.69	100	1.13
Z5 P4 min		Z6 P1 min		Z8 P2 min	
10	0.91	10	0.80	10	0.63
20	0.92	20	0.81	120	1.20
30	0.94	30	0.81	130	1.24
40	0.95	40	0.82	140	1.28
50	0.96	50	0.82	150	1.32
60	0.97	60	0.82		
70	0.98	70	0.83		
80	1.00	80	0.83		
90	1.01	90	0.83		
100	1.02	100	0.84		
110	1.03	110	0.84		
120	1.04	120	0.85		
130	1.06	130	0.85		
140	1.07	140	0.85		
150	1.08	150	0.86		

Objetivo 20x, zoom No.1 al No.3

El zoom No.5 en la dirección No.2 (ver fig. 11 y tabla No.5), es quién porta el mejor desempeño en las incertidumbres mínimas, pero en comparación con las máximas sus valores son muy altos, por ello aunque tiene menor incertidumbre, y debido a la gran gama de valores inmersos en su funcionalidad, lo más recomendable sería el uso del zoom No.8 en la dirección No.2, que pese a ser mayor su

incertidumbre el rango de valores entre las incertidumbres máximas y mínimas es pequeño, y por consecuencia lo convierte en un objetivo más estable y con mejores características metroológicas.

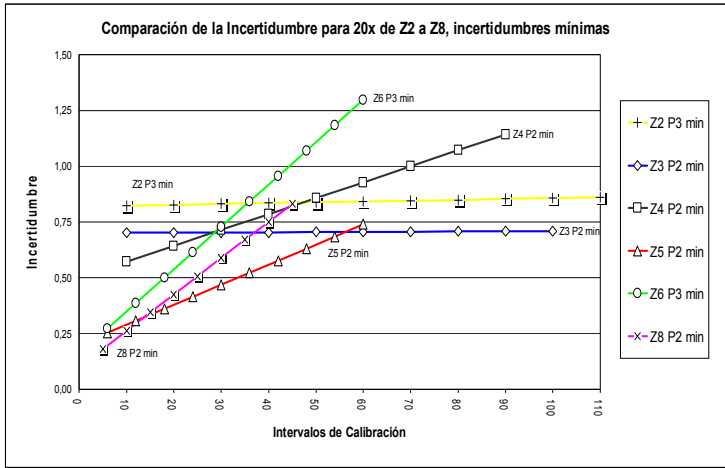


Fig. 11 Comparación de las Incertidumbres, para las ampliaciones del No.2 al No.8, en el objetivo de 20x, con las mínimas incertidumbres (μm).

Tabla 5 Incertidumbre estimada en dependencia del valor nominal para 20x

Z2 P3 min	Z3 P2 min	Z4 P2 min			
10	0.82	10	0.70	10	0.57
20	0.83	20	0.70	20	0.64
30	0.83	30	0.70	30	0.71
40	0.83	40	0.70	40	0.79
50	0.84	50	0.71	50	0.86
60	0.84	60	0.71	60	0.93
70	0.85	70	0.71	70	1.00
80	0.85	80	0.71	80	1.07
90	0.85	90	0.71	90	1.14
100	0.86	100	0.71	Z5 P2 min	
110	0.86	Z6 P3 min	6	0.25	
120	0.86	6	0.27	12	0.31
130	0.87	12	0.39	18	0.36
140	0.87	18	0.50	24	0.42
150	0.87	24	0.61	30	0.47
Z8 P2 min	30	0.73	36	0.52	
5	0.18	36	0.84	42	0.58
10	0.26	42	0.96	48	0.63
15	0.34	48	1.07	54	0.69
20	0.43	54	1.18	60	0.74
25	0.51	60	1.30		
30	0.59				
35	0.67				
40	0.75				
45	0.83				

Objetivo 50x 0,5 zoom No. 2 al No. 8

Sin embargo en la figura 12 y la tabla No.6 las cosas se complican más, la menor incertidumbre es producto de la ampliación No.4 en la dirección No.2 (Z4 p2 min), pero que no muestra mucha diferencia con respecto a la ampliación No.6 (Z6 P2 min) y que debido a la variación que mantiene con las máximas sería la opción a utilizar para el presente objetivo.

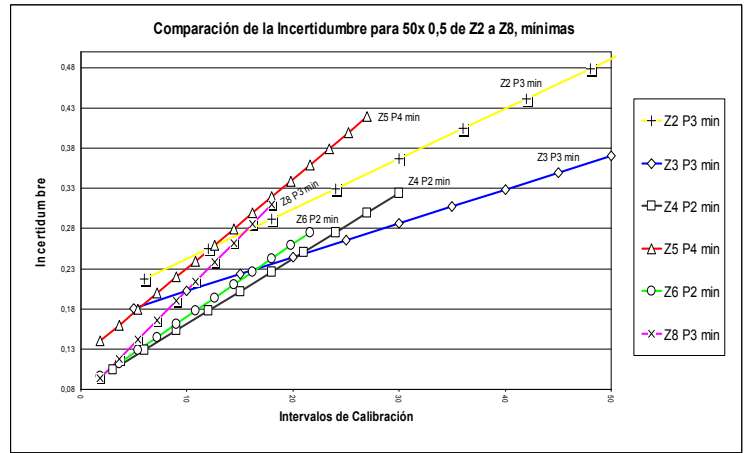


Fig.12 Comparación de las Incertidumbres, para las ampliaciones del No.2 al No.8, en el objetivo de 50x 0,5, con las mínimas incertidumbres (μm).

Tabla 6 Incertidumbre estimada en dependencia del valor nominal para 50x 0,5

Z2 P3 min	Z3 P3 min	Z4 P2 min			
6	0.22	5	0.18	3	0.10
12	0.25	10	0.20	6	0.13
18	0.29	15	0.22	9	0.15
24	0.33	20	0.24	12	0.18
30	0.37	25	0.27	15	0.20
36	0.40	30	0.29	18	0.23
42	0.44	35	0.31	21	0.25
48	0.48	40	0.33	24	0.28
54	0.52	45	0.35	27	0.30
60	0.55	50	0.37	30	0.32
Z5 P4 min	Z6 P2 min	Z8 P3 min			
1.8	0.14	1.8	0.10	1.8	0.09
3.6	0.16	3.6	0.11	3.6	0.12
5.4	0.18	5.4	0.13	5.4	0.14
7.2	0.20	7.2	0.15	7.2	0.17
9	0.22	9	0.16	9	0.19
10.8	0.24	10.8	0.18	10.8	0.21
12.6	0.26	12.6	0.19	12.6	0.24
14.4	0.28	14.4	0.21	14.4	0.26
16.2	0.30	16.2	0.23	16.2	0.29
18	0.32	18	0.24	18	0.31
19.8	0.34	19.8	0.26		
21.6	0.36	21.6	0.28		
23.4	0.38				
25.2	0.40				
27	0.42				

Objetivo 50x 0,75 zoom No. 2 al No. 8

Pasando a la figura 13 y la tabla No.7, se observa que el efecto benéfico, que en anteriores objetivos producía con el aumento de la ampliación ahora queda descartada, en el objetivo 50x 0,75 es importante considerar las incertidumbres producidas en cada ampliación, cuyos resultados no resultan tan evidentes, y por ello y a partir de lo observado se recomienda el uso de la ampliación No.4 en la dirección No.2 (Z4 P2 min).

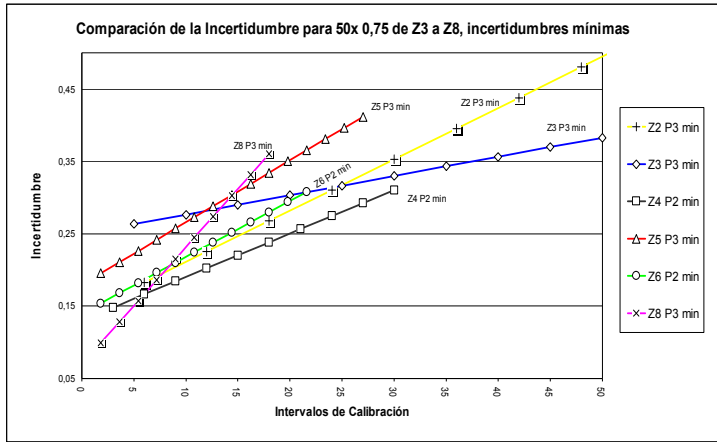


Fig. No.13 Comparación de las Incertidumbres, para las ampliaciones del No.2 al No.8, en el objetivo de 50x 0,75, con las mínimas incertidumbres (μm).

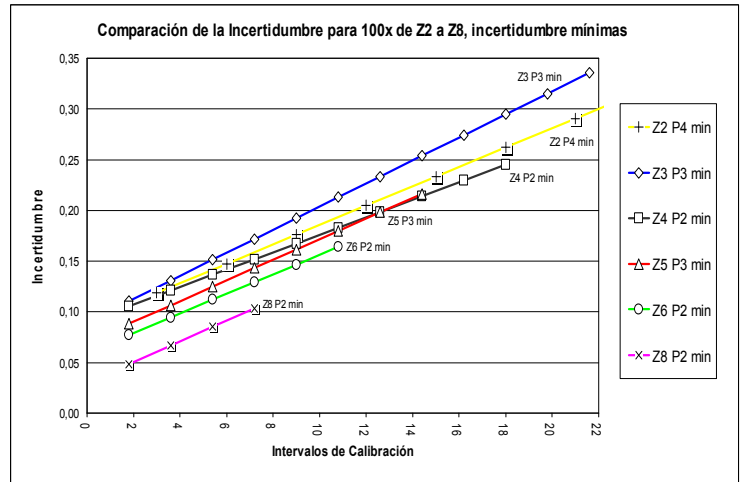


Fig. 14 Comparación de las Incertidumbres, para las ampliaciones del No.2 al No.8, en el objetivo de 100x, con las mínimas incertidumbres (μm).

Tabla 7 Incertidumbre estimada en dependencia del valor nominal para 50x 0,75

Z2 P3 min		Z3 P3 min		Z4 P2 min	
6	0.18	5	0.26	3	0.15
12	0.23	10	0.28	6	0.17
18	0.27	15	0.29	9	0.18
24	0.31	20	0.30	12	0.20
30	0.35	25	0.32	15	0.22
36	0.40	30	0.33	18	0.24
42	0.44	35	0.34	21	0.26
48	0.48	40	0.36	24	0.27
54	0.52	45	0.37	27	0.29
60	0.57	50	0.38	30	0.31
Z5 P3 min		Z6 P2 min		Z8 P3 min	
1.8	0.20	1.8	0.15	1.8	0.10
3.6	0.21	3.6	0.17	3.6	0.13
5.4	0.23	5.4	0.18	5.4	0.16
7.2	0.24	7.2	0.20	7.2	0.19
9	0.26	9	0.21	9	0.22
10.8	0.27	10.8	0.22	10.8	0.24
12.6	0.29	12.6	0.24	12.6	0.27
14.4	0.30	14.4	0.25	14.4	0.30
16.2	0.32	16.2	0.27	16.2	0.33
18	0.33	18	0.28	18	0.36
19.8	0.35	19.8	0.29		
21.6	0.37	21.6	0.31		
23.4	0.38				
25.2	0.40				
27	0.41				

Tabla 8 Incertidumbre estimada en dependencia del valor nominal para 100x.

Z2 P4 min		Z3 P3 min		Z4 P2 min	
3	0.12	1.8	0.11	1.8	0.11
6	0.15	3.6	0.13	3.6	0.12
9	0.18	5.4	0.15	5.4	0.14
12	0.20	7.2	0.17	7.2	0.15
15	0.23	9	0.19	9	0.17
18	0.26	10.8	0.21	10.8	0.18
21	0.29	12.6	0.23	12.6	0.20
24	0.32	14.4	0.25	14.4	0.21
27	0.35	16.2	0.27	16.2	0.23
30	0.38	18	0.29	18	0.24
Z5 P3 min		Z6 P2 min		Z8 P2 min	
1.8	0.09	21.6	0.34	1.8	0.05
3.6	0.11			3.6	0.07
5.4	0.12	1.8	0.08	5.4	0.09
7.2	0.14	3.6	0.09	7.2	0.10
9	0.16	5.4	0.11		
10.8	0.18	7.2	0.13		
12.6	0.20	9	0.15		
14.4	0.22	10.8	0.16		

Objetivo 100x, zoom No. 2 al No. 8

De la figura 14 y tabla No.8, se deduce que en la medida que aumenta la ampliación la incertidumbre suele ser menor (salvo por Z2 P4 min), y por consiguiente el zoom No.8 en la dirección No.2 (Z8 P2 min) es la que menor incertidumbre tiene y por lo tanto la de mejor operación.

5. CONCLUSIONES

En relación a su papel en la metrología es evidente que la tendencia de estos equipos es al desarrollo de técnicas combinadas y de aplicaciones dirigidas al campo de la metrología, con expectativas garantizadas de uso, por su versatilidad y buen desempeño.

En cuanto a la trazabilidad, la calibración fue llevada a cabo con las contribuciones trazadas a patrones primarios, en España algunos de los patrones utilizados están trazados al CEM, pero para patrones de medida pequeños suelen ser trazados a laboratorios y fabricantes de otros países.

Se desarrollo un procedimiento de calibración, que requiere la implicación del responsable de laboratorio para determinar las incertidumbres del equipo en sus diferentes facetas y en su diversidad

de condiciones, un procedimiento bastante detallado que pretende brindar todas la herramientas para su ejecución, de igual manera es acompañado por uno de caracterización dimensional y finalmente otro de estimación de la incertidumbre con hojas de cálculo previamente elaboradas.

En los resultados de la Calibración, destacan efectos producidos por algunos de sus parámetros de funcionalidad más importantes, como lo serían:

1) Las diferentes ampliaciones del equipo en cada objetivo son determinantes para menores incertidumbres, y el desempeño por lo general se asocia a una mayor ampliación con una menor incertidumbre.

2) La dirección en la cual es colocado el patrón para hallar sus magnitudes ha demostrado tener un efecto en la incertidumbre, que podría estar muy ligado a la forma de escaneo del equipo.

3) Los ensayos contienen campos de medida de las mismas dimensiones, y que siendo valorados, se ha comprobado que entre ellos hay diferencias que acentúan un mejor desempeño entre ellas.

4) Para la determinación de las diferencias de altura, se comprobó que aún cuando el fabricante establece magnitudes mínimas de discretización, el equipo no tiene el alcance para avalarlas y por lo tanto cada vez que se oferta un equipo debería estar acompañado de un estudio de este tipo que dictamine sus capacidades.

El presente trabajo abre la posibilidad en el diseño de patrones con estas virtudes cuyo objetivo sea un análisis completo y dinámico del proceso. Ciertamente es que la disponibilidad de los patrones brindaron las directrices para el desarrollo de los ensayos por la gran gama de campos de medida con los que cuenta el equipo, por tal motivo un patrón del fabricante sería una opción que reduciría la manipulación de diferentes materiales de referencia.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Láser de la Universidad Politécnica de Madrid por las facilidades brindadas para la ejecución y análisis de los experimentos realizados. Al Fondo de Apoyo a la Investigación (FAI) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí a través del convenio C10-FAI-05-37.64.

REFERENCIAS

[1] Wirandi J., Lauber A. *Uncertainty and traceable calibration – how modern measurement*

concepts improve product quality in process industry. Measurement 39 (2006) 612-620.

- [2] Pfeifer T., Freudenberg R., Dussler G. and Bröcher B.. *Quality control and process observation for the micro assembly.* Measurement 30(2001)1–3.
- [3] R. Breil, T. Fries, J. Garnaes, J. Haycocks, D. Hüser, J. Joergensen, W. Kautek, L. Koenders, N. Kofod, K.R. Koops, R. Korntner, B. Lindner, W. Mirandé, A. Neubauer, J. Peltonen, G. B. Picotto, M. Pisani, H. Rothe, M. Sahre, M. Stedman and G. Wilkening. *Intercomparison of scanning probe microscopes.* Precision Engineering 26 (2002) 296-305.
- [4] Leyca Microsystems Heidelberg GmbH. *Industrial Confocal Microscope Leica ICM 1000. User manual english, Art.No.:15-9330-013 / Vers:01082001.* Pp: 89-92.
- [5] Procedimiento DI-006 para la calibración de microscopios de medida. Centro Español de Metrología. Madrid: Ministerio de Industria y Energía: Ministerio de Fomento , [1999] 36 p. ; 21 cm.
- [6] ISO y OTROS: “*Guide to the expression of uncertainty in measurement*”, 1ª Edición corregida y reimpressa, ISBN 92-67-10188-9, 101 páginas, 1995, Suiza.