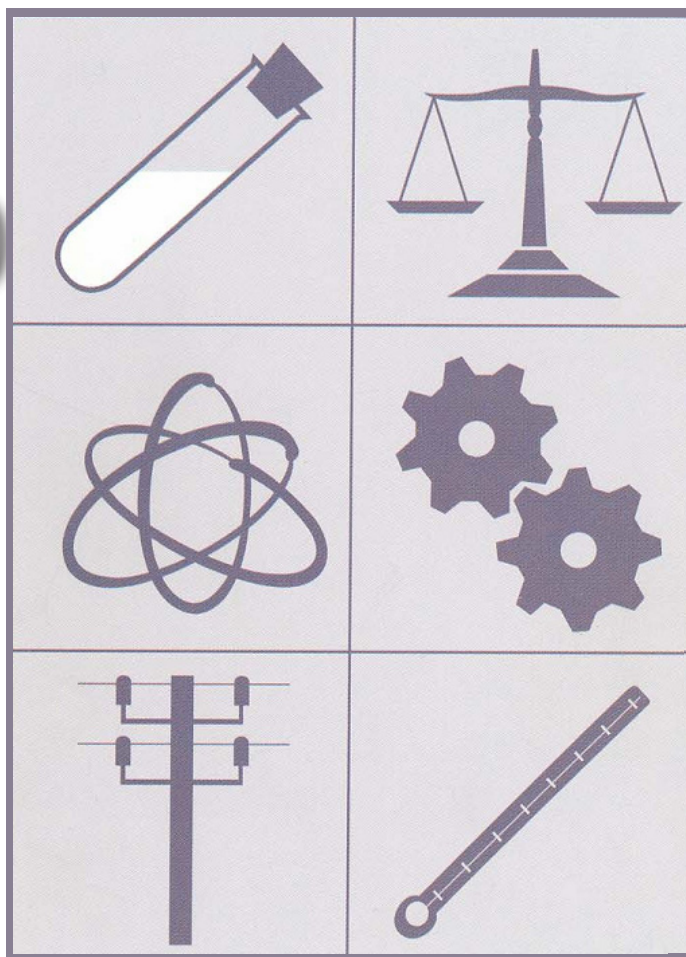


Metrología

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN



PROCEDIMIENTO DI-025 PARA LA CALIBRACIÓN
DE RUGOSÍMETROS DE PALPADOR

ñ 13



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO

CEM
CENTRO ESPAÑOL
DE METROLOGÍA

La presente edición de este procedimiento se emite exclusivamente en formato digital y puede descargarse gratuitamente de nuestra página web (www.cem.es).

El procedimiento ha sido revisado, corregido y actualizado, respecto a la edición anterior en papel.

Este procedimiento de calibración es susceptible de modificación permanente a instancia de cualquier persona o entidad. Las propuestas de modificación se dirigirán por escrito, justificando su necesidad, a cualquiera de las siguientes direcciones:

Correo postal:

Centro Español de Metrología
C/ del Alfar, 2,
28760 Tres Cantos, Madrid

Correo electrónico:

cem@cem.es



ÍNDICE

	Página
1. OBJETO	4
2. ALCANCE.....	4
3. DEFINICIONES	5
4. GENERALIDADES	7
4.1. Breve descripción del equipo a calibrar	7
4.2. Breve resumen de la calibración.....	7
4.3. Abreviaturas	8
5. DESCRIPCIÓN.....	9
5.1. Equipos y materiales	9
5.2. Operaciones previas	10
5.3. Proceso de calibración.....	11
5.4. Toma y tratamiento de datos	12
6. RESULTADOS	13
6.1. Cálculo de incertidumbres.....	14
7. REFERENCIAS	18
8. ANEXO	19
8.1. Ejemplo numérico	19



1. OBJETO

El presente PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DI-025 tiene por objeto definir un método de calibración que puede aplicarse a los RUGOSÍMETROS DE PALPADOR, codificados como D-11.04 según la Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional (ref. [1]), actualizando el proceso de calibración de la ref. [2]. En lo que sigue, y cuando se considere adecuado, se empleará la abreviatura RP para esta clase de instrumentos.

Este procedimiento se redacta de acuerdo con los criterios generales establecidos por el PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN de la ref. [3], emplea en todo lo posible la terminología del VOCABULARIO de la ref. [4] y sigue, para el cálculo de incertidumbres, las recomendaciones de las referencias [5] y [6].

2. ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a los rugosímetros de palpador de tipo motorizado, ya sean de bancada o portátiles, en los que el brazo palpador se desplaza mediante un pequeño motor situado en la unidad de avance. De esta forma se asegura el movimiento del palpador de forma mucho más regular y uniforme que en los rugosímetros de desplazamiento manual que quedan expresamente excluidos de este procedimiento de calibración.

El presente procedimiento de calibración no es aplicable a los rugosímetros con desplazamiento manual ni a los rugosímetros con palpador láser.

Este procedimiento de calibración utiliza patrones de calibración comerciales y puede aplicarse a los RP utilizados habitualmente para medir parámetros microgeométricos en probetas o piezas, pero no es de aplicación para la calibración de rugosímetros dedicados a la calibración de patrones de rugosidad.



3. DEFINICIONES

Este procedimiento emplea en todo lo posible la terminología del VOCABULARIO de la ref. [4] y utiliza los siguientes términos específicos:

Bancada:

Elemento del RP sobre el que se coloca la pieza objeto de medida, bien directamente o mediante elementos de sujeción.

Brazo palpador:

Elemento del RP, en cuyo extremo se encuentra el palpador propiamente dicho, que recibe el movimiento apropiado para recorrer la superficie de la pieza a explorar a lo largo de una línea o perfil de la misma.

Unidad de avance:

Elemento de los RP que proporciona el movimiento de avance al brazo palpador. En los rugosímetros de bancada, la unidad de avance es desplazable en altura sobre una columna solidaria de la bancada o estructura del RP.

Columna:

Elemento de los rugosímetros de bancada que soporta la unidad de avance y permite situarla en la posición adecuada para que el brazo palpador recorra el perfil de la pieza decidido.

Filtro:

Elemento del RP que actúa sobre la señal captada por el palpador para eliminar ruidos y separar los perfiles de rugosidad y ondulación o, en su caso, obtener el perfil completo.

Longitud de onda de corte:



Longitud característica, asociada al espectro de longitudes de onda conservadas en el filtrado, y que identifica el filtro empleado.

Longitud de evaluación:

Longitud, en la dirección del desplazamiento horizontal del palpador, utilizada para calcular los parámetros microgeométricos a partir de los datos obtenidos en el recorrido del palpador. La longitud de evaluación suele ser varias veces la longitud de onda de corte.

Mesa nivelante:

Accesorio que suele emplearse para soportar ciertas piezas, colocándolo entre la bancada y la pieza, al objeto de facilitar una orientación sensiblemente horizontal del perfil a registrar.

Palpador:

Elemento que contiene una punta o estilete que capta las variaciones microgeométricas del perfil, frecuentemente mediante un dispositivo inductivo, las cuales son amplificadas por el RP, almacenándolas para posteriormente obtener el perfil de interés y los parámetros asociados al mismo.

Parámetros horizontales:

Son los que caracterizan el perfil en la dirección horizontal o de exploración.

Parámetros verticales:

También conocidos como parámetros de amplitud, informan sobre las características del perfil en la dirección vertical, perpendicular a la dirección de exploración.

Registrador:

Elemento que en algunos RP, muestra gráficamente el perfil obtenido, filtrado o sin filtrar, a partir de los datos almacenados. Hoy día, tanto los



datos como los perfiles se almacenan y visualizan en la pantalla del ordenador.

4. GENERALIDADES

4.1. Breve descripción del equipo a calibrar

Los RP objeto del presente procedimiento son instrumentos con prestaciones muy diferentes en algunos casos.

Existen RP comerciales que ofrecen decenas de parámetros de rugosidad, ondulación y perfil completo, algunos con ordenador personal incorporado, que permiten registrar y almacenar los datos del perfil explorado y obtener, posteriormente, cualquiera de los parámetros disponibles.

Otros equipos, de tipo portátil, son mucho más sencillos y se limitan a ofrecer un reducido número de parámetros de rugosidad, a veces uno o dos.

El rango de medida y la división de escala también es variable, si bien la mayor parte de los parámetros microgeométricos que se utilizan normalmente suelen situarse en valores inferiores a 10 μm . La división de escala también depende del tipo de rugosímetro e, incluso, puede variar al hacerlo la amplificación del RP. Es frecuente que la división de escala sea de 0,1; 0,01 ó 0,001 μm .

En los RP actuales, con ordenador incorporado, es normal que la amplificación vertical y la división de escala sean decididos automáticamente por el equipo.

4.2. Breve resumen de la calibración

Dada la gran diversidad de parámetros microgeométricos existentes y las diferentes ofertas de los mismos en los RP comerciales, la calibración de un RP se efectúa midiendo los parámetros microgeométricos necesarios sobre patrones



certificados en condiciones similares a las de utilización habitual del instrumento.

En cualquier caso, no se admitirá extrapolar los resultados de la calibración, ni superior ni inferiormente, por lo que la calibración sólo resultará admisible en el intervalo que definan los valores mínimo y máximo de los patrones empleados.

La calibración de los RP quedará limitada, además, a los parámetros calibrados (rugosidad, ondulación y perfil completo) con los filtros seleccionados, siendo imprescindible disponer de dichos valores en los certificados de calibración de los patrones empleados.

Si el RP a calibrar dispusiese de varias escalas de medida seleccionables para diferentes amplificaciones, se considerará suficiente trabajar en la forma descrita en la escala de máxima amplificación, complementándola al menos con un punto de calibración en cada una de las otras escalas.

Asimismo, la calibración del RP queda vinculada al palpador utilizado por lo que deberá realizarse una calibración siempre que se cambie de palpador.

4.3. Abreviaturas

Las abreviaturas utilizadas en este procedimiento son las siguientes:

- C_E : corrección por redondeo de las lecturas.
- C_r : corrección por redondeo en el resultado final.
- E : división de escala
- k : factor de cobertura
- RP : rugosímetro de palpador.
- R : intervalo de redondeo del resultado final.
- s : estimador de la desviación típica mediante muestra poblacional.



- $u(x)$: incertidumbre típica estimada para el valor x de la variable X .
 T : temperatura.
 U : incertidumbre expandida para el resultado final.
 X : lectura del RP.
 X_p : valor del patrón.

5. DESCRIPCIÓN

5.1. Equipos y materiales

En los RP cuyo rango de medida quede comprendido dentro del intervalo 0 a 10 μm , se utilizarán tres puntos de calibración, al menos, situados en los subintervalos siguientes:

Punto inferior; dentro del 10 % inferior del rango de medida.

Punto medio; entre el 20 % y el 60 % del rango de medida.

Punto superior, dentro del 30 % superior del rango de medida.

Si el rango de medida del RP supera los 10 μm , deberán realizarse los puntos anteriores entre 0 y 10 μm , como mínimo.

NOTA:

Aunque se admite como suficiente la calibración en sólo los tres puntos indicados, con objeto de aliviar al usuario de la necesidad de adquirir demasiados patrones y de mantener su trazabilidad, se recomienda extender la calibración del RP hasta cinco puntos de su escala, al menos, manteniendo en tres de ellos la pertenencia a los intervalos de valores indicados.

En consecuencia, se precisa un mínimo de tres patrones de calibración, distribuidos en la forma indicada en el rango de medida del RP, con valores certificados del parámetro y filtro que vayan a utilizarse en la calibración.



Los patrones de calibración a emplear son patrones de rugosidad (D-11.01 según ref. [1])

Se admite la utilización de patrones periódicos con perfiles regulares (de onda cuadrada, triangular, etc.) pero también pueden emplearse patrones de perfiles aperiódicos que se aproximan más a los perfiles reales obtenidos en los procesos de fabricación.

También es conveniente disponer de una mesa nivelante para situar aproximadamente horizontal la superficie de los patrones.

5.2. Operaciones previas

5.2.1.- Para poder emitir un certificado de calibración de un RP, éste debe encontrarse identificado de forma permanente, con los siguientes datos como mínimo:

MARCA
NÚMERO DE SERIE o DE IDENTIFICACIÓN

Asimismo, el palpador debe estar suficientemente identificado para que no exista duda cuando se utilice uno u otro de varios palpadores.

En caso de que no exista identificación propia suficiente, se procederá a la identificación del instrumento de la mejor forma posible, por ejemplo mediante etiqueta fuertemente adherida al instrumento, de forma que no surja duda alguna en cuanto a la correspondencia entre el equipo calibrado y el certificado emitido.

5.2.2.- Antes de iniciar la calibración, se limpian la bancada de apoyo, los accesorios de sujeción y las restantes partes accesibles del RP, empleándose un disolvente adecuado, por ejemplo, una mezcla de alcohol y éter al 50 %, y un paño suave.

5.2.3.- En los patrones de microgeometría se debe cuidar que no se ensucien; en caso de necesitar limpieza se hará por un



procedimiento adecuado. Antes de proceder a su medida se dejan estabilizar durante un mínimo de diez minutos.

5.2.4.- Se realiza una inspección general del instrumento, comprobando el movimiento suave del brazo palpador sin contacto con ningún mensurando, respecto de la unidad de avance, así como el desplazamiento correcto de dicha caja de arrastre sobre su columna portante en el caso de rugosímetros de bancada. Se debe comprobar también que los parámetros de medición seleccionados son los adecuados.

5.2.5.- Seguidamente se realiza la rutina de comprobaciones y requisitos previos que indique el Manual de Instrucciones del rugosímetro, siempre que no alteren los resultados de la calibración vigente.

5.2.6.- La calibración debe realizarse en un recinto acondicionado, en cuanto a vibraciones y temperatura. La temperatura durante toda la operación debe mantenerse dentro del intervalo (20 ± 2) °C para lo que se controlará al comenzar y finalizar las medidas de calibración si éstas no se prolongan durante más de treinta minutos, registrándose, además, cada media hora si la adquisición de las medidas se extiende por encima de treinta minutos.

5.3. Proceso de calibración

5.3.1.- Los patrones de calibración se situarán sobre la bancada o mesa soporte, comprobándose que la dirección general del perfil a medir coincide con la de desplazamiento del brazo palpador. Para ello se actuará sobre la inclinación de la mesa soporte o de la unidad de arrastre en la forma que indique el Manual de Instrucciones del RP.

5.3.2.- Las doce medidas a efectuar sobre cada patrón se espaciarán para cubrir toda su superficie útil,



distribuyéndolas aleatoriamente sobre el área de medida evitando los bordes.

5.3.3.-Se realizará además una serie de 10 medidas de un mismo trazado, para evaluar la repetibilidad del equipo.

5.3.4.-Con cada patrón, se seleccionará sobre el RP la longitud de corte y el filtro indicados en el certificado. Si el RP permite fijar la longitud de evaluación, se recomienda que ésta no será inferior a cinco veces la longitud de corte.

5.3.5.-Como se ha indicado en el apartado 4.2, si el RP a calibrar permite seleccionar el rango de medida se hará la calibración más exhaustiva en el rango con el que más se trabaje, comprobándose un punto de calibración, al menos, en las otras ampliaciones. Se deberá comprobar que los resultados obtenidos son aptos para el uso que se le pretende dar al RP.

5.4. Toma y tratamiento de datos

Se denominarán:

x_{ij} = medida distribuida al azar en el área del patrón de orden j en el punto i de calibración ($i = 1$ a I ; $j = 1$ a J ; $J = 12$)

x_{pi} = valor del patrón empleado para calibrar en el punto i

x_{ik} = medida de evaluación de la repetibilidad de orden k en el punto i de calibración ($i = 1$ a I ; $k = 1$ a K ; $K = 10$)

Se calcularán los parámetros siguientes:

5.4.1.- Valor medio de calibración en el punto i

$$\bar{x}_i = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J x_{ij}$$

5.4.2.- Desviación típica de calibración en el punto i

$$s_i^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

5.4.3.- Desviación típica de repetibilidad en el punto i

$$s_k^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (x_{ik} - \bar{x}_k)^2 ,$$

$$\text{siendo } \bar{x}_k = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{ik}$$

6. RESULTADOS

De acuerdo con 5.2.6, los resultados de la calibración deben referirse a 20 °C. Dichos resultados se concretan en la corrección y su incertidumbre, en cada uno de los puntos de calibración. Estas correcciones suelen denominarse locales para distinguirlas de una corrección global que sería aplicable a las medidas del instrumento en cualquier punto de su escala.

La forma de establecer la corrección global y su incertidumbre no es objeto de consideración en el presente procedimiento de calibración.

Las correcciones de calibración expresan fundamentalmente la discrepancia entre los valores de los patrones y las indicaciones del instrumento al medir dichos patrones, aunque es frecuente incorporar otras contribuciones como más adelante se indica. En particular, se considera la corrección por redondeo a la división de escala de las



lecturas y la corrección por redondeo del resultado. Cada corrección ha de acompañarse de su correspondiente incertidumbre.

Una eventual corrección por temperatura debería tener en cuenta la dilatación diferencial entre los diferentes elementos que intervienen en la calibración. Esta contribución se considera despreciable siempre que se cumplan las condiciones de los apartados 5.2.3 y 5.2.6.

Los valores asignados a los patrones deben corresponder a las condiciones de uso en la calibración incorporando, en su caso, correcciones por deriva. Sin embargo, en este caso, al tratarse de patrones muy estables en los que, además, la incertidumbre recoge una contribución importante por indefinición del mensurado, se estima despreciable la contribución por deriva.

No se consideran otras correcciones distintas de las indicadas, lo que no exime al responsable de la calibración del rugosímetro de palpador de tener en cuenta correcciones adicionales si sus condiciones de trabajo así lo aconsejasen.

6.1. Cálculo de incertidumbres

Utilizando letras mayúsculas para las variables aleatorias que representan el mensurado, de acuerdo con las referencias [5] y [6], cada una de las correcciones locales responde al siguiente modelo

$$C_{ci} = X_{pi} - \overline{X}_i + C_{rep} + C_E + C_r$$

donde C_{ci} representa la corrección local de calibración en cada punto, siendo C_E la corrección por redondeo de las lecturas, C_{rep} la corrección por repetibilidad y C_r una variable similar para el redondeo del resultado final.



La incertidumbre típica del patrón en el punto i de calibración ($i=1$ a l) es u_{pi} .

La varianza de la media de las indicaciones al medir el patrón anterior es, según 5.4.2, s_i^2/J . Junto con la varianza debida a la repetibilidad, según 5.4.3, s_k^2/J , formarán parte de las contribuciones de incertidumbre obtenidas a partir de las medidas tomadas.

El redondeo de las lecturas realizado por el RP se representa mediante una corrección, c_E , de media nula, cuya varianza se obtiene de la hipótesis de distribución uniforme en un intervalo $\pm E/2$ siendo E la división de escala del instrumento. Su valor es:

$$u^2(c_E) = \frac{(E/2)^2}{3} = \frac{E^2}{12}$$

El redondeo sobre el resultado final se cuantifica igualmente mediante una corrección de media, c_r , cuyo valor coincide con el necesario para redondear el resultado al múltiplo de la división de escala más próximo, y de varianza

$$u^2(c_r) = \frac{(E/2)^2}{3} = \frac{E^2}{12}$$

Los estimadores de las variables y sus incertidumbres típicas se pueden recoger en forma de tabla según formato recomendado en la ref. [6] (tabla 1).

Tabla 1: Incertidumbre de las correcciones locales

Magnitud	Estimación	Incertidumbre típica	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
X_m	x_m	$u(x_m)$		γ_m	$u_m(x_m)$
X_{pi}	x_{pi}	u_{pi}	Normal	1	u_{pi}
\bar{X}_i	\bar{x}_i	$\frac{s_i}{\sqrt{J}}$	Normal	-1	$-\frac{s_i}{\sqrt{J}}$
C_{rep}	0	$\frac{s_k}{\sqrt{K}}$	Normal	1	$\frac{s_k}{\sqrt{K}}$
C_E	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	Rectangular	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$
C_r	c_r	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	Rectangular	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$
C_{ci}	$c_{ci} = \sum_m \gamma_m x_m$	Incertidumbre combinada			$u_{ci} = \sqrt{\sum_m u_m^2(x_m)}$
		Incertidumbre expandida			$U_{ci} = k u_{ci}$

Aplicando la ley de propagación de varianzas, la expresión de U_{ci} para la corrección de cada punto calibrado queda de la forma:

$$U_{ci}^2 = k^2 \sum_{m=1}^5 u_m^2(x_m) = k^2 \left(u_{pi}^2 + \frac{s_i^2}{J} + \frac{s_k^2}{K} + \frac{E^2}{12} + \frac{E^2}{12} \right) \quad (1)$$

donde el subíndice m representa las filas de la tabla 1.

En el certificado de calibración deben figurar las correcciones e incertidumbres locales del apartado 6.1, para un nivel de confianza del 95 %.



De acuerdo con la referencia [6], las contribuciones tipo A son suficientemente fiables cuando proceden de diez o más medidas repetidas, lo que se satisface en el modelo propuesto; la incertidumbre expandida se corresponde con una probabilidad de recubrimiento del 95 %, lo que puede conseguirse con un factor de cobertura $k = 2$ en la mayor parte de los casos. Para ello es suficiente combinar tres o más distribuciones que contribuyan a la incertidumbre típica compuesta en cuantías similares y que las varianzas de las mismas se estimen de forma suficientemente fiable.

En la calibración considerada, la determinación de cada corrección local utiliza un mínimo de cuatro contribuciones (tabla 1), pudiendo ocurrir que las contribuciones más importantes no resulten sensiblemente similares por lo que la adopción de una función de densidad normal para el resultado es poco fiable. No obstante, si una contribución es claramente dominante sobre las demás y su distribución es normal, la hipótesis de normalidad es aceptable. En otros casos habría que obtener la función de distribución a la que realmente responde el resultado y determinar el factor de cobertura para una probabilidad del 95 % con dicha distribución.

En todo caso, es conveniente aplicar un redondeo por exceso a la incertidumbre.

Las correcciones locales y sus incertidumbres se expresan redondeadas a múltiplos de la división de escala del RP.



7. REFERENCIAS

- [1] Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional. 1ª ed. Centro Español de Metrología, 2005, NIPO: 165-02-003-4.
- [2] Proceso de calibración D-034 para Rugosímetros de Palpador D-11.04. Sistema de Calibración Industrial (SCI). edición inicial, 15 págs., 1989.
- [3] Procedimiento para la elaboración de procedimientos de calibración. Grupo de Trabajo MINER-CEM. Ed. 2, Tres Cantos, Madrid. Año 2000.
- [4] Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados. 3ª ed. en español (traducción de 3ª ed. en inglés), Centro Español de Metrología, 2009, NIPO 706-09-001-0.
- [5] Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida., 3ª ed. en español (traducción de 1ª ed. 2008 en inglés), Centro Español de Metrología, 2009, NIPO: 706-09-002-6.
- [6] *EA-4/02* Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration (antes EAL_R2). Edición 2, 79 págs., 1999.



8. ANEXO

8.1. Ejemplo numérico

Se recogen a continuación los cálculos para la determinación del parámetro Ra de rugosidad en un RP en el que las indicaciones se presentan con división de escala $E=0,001 \mu\text{m}$ y cuyo rango de medida es $C=0\div 10 \mu\text{m}$. El RP selecciona automáticamente la amplificación y la longitud de evaluación.

La calibración se ha realizado en cinco puntos de la escala, utilizando una longitud de corte de 0,8 mm y filtro gaussiano, datos que coinciden con los declarados en los certificados de calibración de los cinco patrones utilizados, cuyos valores e incertidumbres típicas certificadas se incluyen en la tabla 2.

El palpador utilizado es el marcado con el número 3.

Tabla 2: Patrones de calibración del parámetro Ra

PATRÓN	1	2	3	4	5
x_p (μm)	0,45	1,02	2,41	4,62	9,37
u_p (μm)	0,03	0,04	0,07	0,13	0,25

Los puntos seleccionados satisfacen las condiciones del apartado 4 pues el patrón 1 es inferior a $1 \mu\text{m}$, los patrones 3 y 4 se encuentran entre $2 \mu\text{m}$ y $6 \mu\text{m}$, y el patrón 5 se sitúa entre $7 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$.

La temperatura en el entorno del RP se ha mantenido durante la calibración entre $19,8 \text{ }^\circ\text{C}$ y $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$.



En la tabla 3 se recogen los valores de los patrones y de las mediciones efectuadas.

La incertidumbre típica y la incertidumbre expandida que figuran en las dos últimas filas de la tabla 3 se calculan de acuerdo con el modelo de la tabla 1 para cada punto de calibración. La tabla 4 indica la combinación de contribuciones para el punto 3 de calibración, de acuerdo con el modelo del apartado 6.1 que, en estimadores, responde a:

$$c_{ci} = x_{pi} - \bar{x}_i + c_{rep} + c_E + c_r$$

En este caso la primera contribución (patrón) es dominante por lo que se adopta un valor $k=2$ del factor de cobertura, resultando para la corrección local:

$$c_{ci} = -0,013 \mu\text{m}$$

y para la incertidumbre expandida de la corrección local:

$$U_{ci} = 0,142 \mu\text{m}$$

para una probabilidad de cobertura del 95 %, aproximadamente.

De acuerdo con este criterio se han obtenido los valores de la última y antepenúltima filas de la tabla 4, que son los resultados de la calibración.

De acuerdo con el apartado 3, la calibración efectuada se limita al intervalo entre 0,45 μm y 9,37 μm .



Tabla 3: Toma y tratamiento de datos.

Rango de medida $C = 0$ a $10 \mu\text{m}$		División de escala $E = 0,001 \mu\text{m}$				
Punto de calibración (i)		1	2	3	4	5
Patrón: X_{pi}		0,45	1,02	2,41	4,62	9,37
Inc. típica patrón: u_{pi}		0,03	0,04	0,07	0,13	0,25
$k = 1$		0,451	1,059	2,437	4,65	9,401
2		0,455	1,061	2,429	4,642	9,403
3		0,457	1,068	2,439	4,649	9,415
4		0,458	1,061	2,434	4,64	9,421
5		0,459	1,065	2,433	4,653	9,409
Lecturas x_{ik}	6	0,453	1,073	2,428	4,643	9,405
	7	0,455	1,057	2,435	4,653	9,417
	8	0,458	1,068	2,426	4,64	9,42
	9	0,46	1,071	2,432	4,645	9,423
	10	0,455	1,072	2,424	4,643	9,426
	$j = 1$	0,466	1,060	2,433	4,631	9,365
	2	0,450	1,042	2,412	4,702	9,430
	3	0,461	1,044	2,414	4,643	9,413
	4	0,478	1,056	2,428	4,672	9,405
	5	0,465	1,063	2,421	4,700	9,370
Lecturas x_{ij}	6	0,455	1,039	2,431	4,681	9,428
	7	0,461	1,045	2,413	4,699	9,421
	8	0,473	1,043	2,417	4,611	9,373
	9	0,476	1,059	2,422	4,623	9,402
	10	0,470	1,061	2,430	4,669	9,392
	11	0,454	1,072	2,419	4,690	9,401
	12	0,465	1,058	2,434	4,702	9,457
Valor medio: \bar{x}_i		0,4645	1,0535	2,4228	4,6686	9,4048
Corrección local sin redondear $x_{pi} - \bar{x}_i$		-0,0145	-0,0335	-0,0128	-0,0486	-0,0348
Desviación típica: S_i		0,0088	0,0105	0,0081	0,0333	0,0273



Desviación típica _{rep} : S_k	0,0028	0,0057	0,0049	0,0051	0,0089
Corrección local redondeada: C_{ci}	-0,015	-0,034	-0,013	-0,049	-0,035
Inc. típica de la corr. local: $u(C_{ci})$	0,031	0,041	0,071	0,131	0,251
Inc. expandida de la corr. local: $U_{ci}(k=2)$	0,062	0,082	0,142	0,262	0,502

(Todos los valores en μm)

Tabla 4: Contribuciones a la incertidumbre combinada de la corrección local en el punto de calibración 3.

Magnitud X_m	Estimación x_m	Incertidumbre e típica $u(x_m)$	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad γ_m	Contribución a la incertidumbre $u_m(x_m)$
X_{pi}	2,41	0,07	Normal	1	0,07
\bar{X}_i	2,4228	0,009	Normal	-1	-0,009
C_{rep}	0	0,0015	Normal	1	0,0015
C_E	0	0,0003	Rectangular	1	0,0003
C_r	-0,0002	0,0003	Rectangular	1	0,0003
C_{ci}	-0,013	Incertidumbre combinada (u)			0,071
		Incertidumbre expandida ($U_{95} = 2 u$)			0,142

(Todos los valores en μm)

