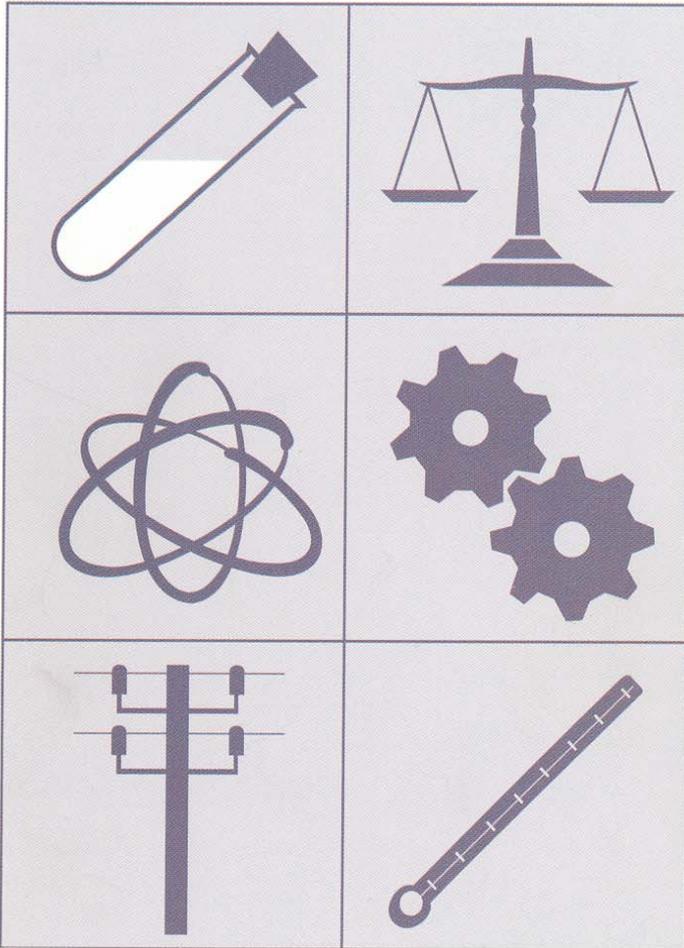


Metrología

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN



PROCEDIMIENTO DI-005 PARA LA CALIBRACIÓN DE MICRÓMETROS DE EXTERIORES DE DOS CONTACTOS

m 10



MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO



Este procedimiento ha sido revisado, corregido y actualizado, si ha sido necesario.

La presente edición se emite en formato digital. Hay disponible una edición en papel que se puede adquirir en nuestro departamento de publicaciones.

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
3.1. Cabeza micrométrica	5
3.2. Cuerpo	5
3.3. Contacto (o tope) fijo	5
3.4. Contacto (o tope) móvil	5
3.5. Caras de medida	5
3.6. Limitador de par	6
3.7. Tambor	6
3.8. Dispositivo de bloqueo	6
3.9. Soporte	6
3.10. Orientación	6
3.11. Ajuste de escala	7
4. GENERALIDADES	7
5. DESCRIPCIÓN	9
5.1. Equipos y materiales	9
5.2. Operaciones previas	10
5.3. Proceso de calibración	12
5.4. Toma y tratamiento de datos	16
6. RESULTADOS	20
6.1. Cálculo de incertidumbres	21
6.2. Interpretación de resultados	28
7. REFERENCIAS	29
8. ANEXOS: Ejemplos numéricos	31
8.1. ME2C milesimal	31
8.2. ME2C centesimal	35



1. OBJETO

El presente PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN tiene por objeto exponer dos métodos de calibración para los MICRÓMETROS DE EXTERIORES DE DOS CONTACTOS, codificados como D-02.10 según la Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional (ref. [6]). En lo que sigue se emplearán opcionalmente las abreviaturas ME2C ó ME, cuando se considere adecuado.

Este procedimiento se redacta de acuerdo con los criterios generales establecidos por el PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN de la ref. [1], emplea en todo lo posible la terminología del VOCABULARIO de la ref. [2] y sigue, para el cálculo de incertidumbres, las recomendaciones de las referencias [3], [4] y [5].

2. ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a micrómetros diseñados para la medición de distancias exteriores, mediante un sistema de amplificación de tornillo micrométrico, con dos contactos, uno fijo y otro móvil unido a la cabeza micrométrica, entre los cuales ha de situarse adecuadamente el mensurando.

Se aplica para cualquier valor del campo de medida C de los micrómetros a calibrar y para valores de división de escala $E \geq 0,0005$ mm, tanto de tipo analógico como digital. Los valores más usuales de este último parámetro son $E = 0,001$ mm y $E = 0,01$ mm. Normalmente los dos contactos de medida del micrómetro son planos, pero este procedimiento podría también aplicarse a otros tipos de contactos usuales en estos instrumentos, como de bola, de cuchilla, etc.

Quedan expresamente fuera del alcance de este procedimiento los micrómetros de interiores, los micrómetros de tres contactos y los micrómetros especiales como los de medida de espesores. La normativa española dispone de un documento para los ME que se indica en la ref. [7].



3. DEFINICIONES

3.1. Cabeza micrométrica:

Sistema que proporciona la amplificación mecánica al ME, mediante un sistema de tornillo micrométrico; la cabeza micrométrica incluye el contacto móvil.

3.2. Cuerpo:

Elemento en forma de arco que sustenta tanto la cabeza micrométrica, con el contacto móvil, como el contacto fijo; cuando el micrómetro se usa en la modalidad “instrumento móvil / pieza fija”, el operario lo sujeta por el cuerpo y cuando el micrómetro se usa en la modalidad “instrumento fijo / pieza móvil”, el cuerpo sirve para colocarlo sobre un soporte de medida. En ME2C de elevado campo de medida ($C \geq 0,5$ m), se admite la manipulación por dos operarios.

3.3. Contacto (o tope) fijo:

Elemento, generalmente de forma cilíndrica, unido rígidamente a un extremo del cuerpo.

3.4. Contacto (o tope) móvil:

Elemento, generalmente de forma cilíndrica, que forma parte de la cabeza micrométrica, mediante cuyo accionamiento manual se desplaza frente al contacto fijo, acercándose o alejándose de él.

3.5. Caras de medida:

Superficies planas (salvo en micrómetros especiales con otro tipo de contactos, como se indicó en el apartado 2), generalmente de forma circular, pertenecientes a los contactos de medida, que son paralelas entre sí y que efectúan el contacto con el mensurando para obtener la indicación de medida.



La cara de medida móvil debe desplazarse de forma que se mantenga paralela a la cara de medida fija en todo el campo de medición.

A veces las caras de medida son de metales duros, para proporcionarles una mayor resistencia al desgaste.

3.6. Limitador de par:

Elemento situado en el extremo más exterior de la cabeza micrométrica y que, mediante un mecanismo de fricción, permite aplicar una fuerza constante de medición.

3.7. Tambor:

Carcasa de la cabeza micrométrica, con una zona giratoria para el desplazamiento del contacto móvil y otra fija de unión al cuerpo. Entre ambas zonas se dispone la escala de lectura, cuando es de tipo analógico.

3.8. Dispositivo de bloqueo:

Elemento situado sobre el cuerpo del ME, cerca del contacto móvil, para poder bloquear el movimiento del mismo en una cierta posición.

3.9. Soporte:

Elemento independiente del ME2C, que lo sujeta por el cuerpo cuando va a usarse en la modalidad "instrumento fijo / pieza móvil", permitiendo al operador mantener sus dos manos libres, una para sujetar el mensurando y la otra para accionar la cabeza micrométrica.

3.10. Orientación:

Operación de colocación del mensurando entre las caras de medida del ME2C de forma que la distancia a medir quede situada perpendicularmente a aquéllas, anulando así en todo lo posible el error de coseno.



3.11. Ajuste de escala:

Operación que permite, dentro de un pequeño intervalo del campo de medida, modificar la posición del umbral de la escala (que no siempre coincidirá con el valor cero), como una parte de la calibración del ME2C, para eliminar en lo posible desviaciones sistemáticas que pudieran apreciarse.

Esta operación, que requiere cierta habilidad manual de parte del operador, suele efectuarse con ayuda de una pequeña llave mecánica especial, girando suavemente la parte fija de la carcasa.

4. GENERALIDADES

Los micrómetros de todo tipo y en particular los de exteriores de dos contactos son instrumentos portátiles de metrología dimensional para la medición exclusiva de magnitudes lineales con precisiones medias, sobre mensurandos muy diversos, tanto en formas como en tamaños; se trata de instrumentos muy versátiles, no costosos y de manejo muy sencillo. Los dos tipos de mediciones más características que pueden efectuarse con los ME2C son las distancias entre dos caras paralelas exteriores y la medida de diámetros exteriores, tanto sobre superficies cilíndricas como sobre superficies esféricas.

Su escala longitudinal se basa en una rosca de alta precisión, situada dentro de la cabeza micrométrica, de paso pequeño (normalmente $p = 0,5 \text{ mm}$ ó 1 mm); cada avance longitudinal de valor p dado al contacto móvil, supone un desplazamiento circunferencial πD , siendo D el diámetro del tambor sobre el que se ha grabado la escala de lectura.

Los ME2C suelen ser de escala analógica, aunque algunos de ellos efectúan una presentación numérica, parcial o total, de la indicación de medida.

En micrómetros de campos de medida C elevados, puede disponerse de un conjunto de topes fijos fácilmente intercambiables en su posición sobre el cuerpo del instrumento y de longitudes nominales escalonadas



según un modelo determinado; con ellos se consigue, para un campo de medida determinado de la cabeza micrométrica con el contacto móvil, disponer de varios campos de medida consecutivos para un mismo cuerpo del micrómetro.

Su calibración habrá de efectuarse de forma completa, tal y como se describe en el apartado 5, para cada uno de los topes fijos y campos de medida del ME2C.

Cuando se va a efectuar una medida con un micrómetro es aconsejable proceder a un control previo mediante un patrón auxiliar como puede ser un bloque patrón longitudinal (BPL; D-01.02 según referencia [6]) o una barra patrón de extremos (BPE; D-01.05 según referencia [6]); para ello se efectúa una medida del BPL o de la BPE, comprobando la correcta lectura de la escala del ME2C y procediendo, caso de observarse discrepancia significativa, a una calibración del instrumento.

Naturalmente, en los ME2C cuyo umbral de escala sea cero, el control descrito puede efectuarse sin necesidad de ningún patrón, efectuando el contacto entre las caras de medida y comprobando que corresponde a una indicación cero.

Para efectuar una medición se colocará el micrómetro en su soporte, si procede, y se situará el mensurando de forma que la dimensión a medir quede perpendicular a las caras de medida, acercando suavemente el tope móvil mediante giro de la cabeza micrométrica; cuando el tope móvil se encuentre ya muy cercano a su posición de medida, debe continuarse el giro manual con el limitador de par (apartado 3.6), para asegurar una fuerza de medida constante. Esta metodología es análoga cuando es el ME2C el que se sitúa para medir un mensurando fijo.

Una práctica corriente al medir con micrómetro es repetir dos o tres veces la medida, retirando y volviendo a acercar el contacto móvil mediante el limitador de par, sin variar la posición relativa entre micrómetro y pieza, obteniendo así dos o tres indicaciones de medida, en lugar de una sola, que evidentemente han de resultar suficientemente concordantes para dar por válida la medición efectuada.



Al acabar de usarlos, es recomendable dejar la escala en una posición cercana a su umbral, aunque cuidando que las caras de medida no queden nunca en contacto, en los ME2C de umbral cero; en los instrumentos de más precisión ($E < 0,01$ mm) puede tomarse la precaución adicional de engrasar ligeramente las dos caras de medida con vaselina neutra, lo cual obligará a su limpieza con un disolvente suave antes de la siguiente utilización.

En el presente procedimiento DI-002, se emplean las abreviaturas siguientes:

ME y ME2C:	Micrómetros de exteriores de dos contactos.
BPL:	Bloque patrón longitudinal.
BPE:	Barra patrón de extremos.
PP:	Patrones planoparalelos.

5. DESCRIPCIÓN

5.1. Equipos y materiales

Para la calibración de la escala lineal de un ME2C, siguiendo el principio fundamental en metrología de calibrar de la forma más similar posible a como se mide, se emplearán bloques patrón longitudinales (BPL; D-01.02 según referencia [6]), calibrados con incertidumbres adecuadas a los valores de la división de escala del instrumento concreto para el que se apliquen.

Para ME con $E \leq 0,01$ mm, se recomienda el empleo de BPL de calidad 1 o superior y para ME con $E > 0,01$ mm se recomienda el uso de BPL de calidad 2 o superior.

Además, y para ciertas operaciones complementarias de calibración, se emplearán también patrones planoparalelos de vidrio (PP; D-06.15 según referencia [6]).

NOTAS: 1 No se considera correcta la calibración de ME2C con máquinas medidoras por coordenadas, midiendo la distancia entre las caras de medida correspondiente a un cierto valor fijado de la escala, pues al no hacer



intervenir la fuerza de medida y el posicionamiento manuales, vulnera el principio fundamental de metrología citado al comienzo del apartado 5.1.

- 2 Las barras patrón de extremos (BPE) no son patrones para la calibración de los ME2C, sino patrones para el control y ajuste de escala previos a la propia operación de medida, según se indicó en el apartado 3.11; por ello es recomendable que en el estuche del ME2C se incluyan uno o varios de estos patrones, según sea necesario, para disponer siempre de uno en cada campo de medida del instrumento.

La comprobación de la planitud y paralelismo de los contactos planos de un ME2C, mediante PP se facilita mediante el empleo de una pantalla de luz monocromática.

5.2. Operaciones previas

- 5.2.1 Para poder emitir un certificado de calibración de un ME2C, éste debe encontrarse identificado, de forma permanente, con los siguientes datos como mínimo:

MARCA
NÚMERO DE SERIE o DE IDENTIFICACIÓN

Es recomendable que, además, incluya:

MODELO
CAMPO DE MEDIDA (C)
DIVISIÓN DE ESCALA (E)

Los anteriores datos de identificación pueden encontrarse grabados sobre el propio ME2C, normalmente en su cuerpo, o bien sobre su estuche, siendo deseable que la identificación figure en ambos lugares y si sólo figura en uno de ellos es mejor que sea en el instrumento.

En el certificado de calibración deberá reseñarse la identificación del ME2C.



En caso de identificación insuficiente es admisible proceder a establecer la misma de la mejor forma posible, por ejemplo mediante una etiqueta fuertemente adherida al instrumento, de forma que no exista duda alguna en cuanto a la correspondencia entre el equipo calibrado y el certificado emitido.

- 5.2.2 Es deseable que la temperatura ambiente del local en el que se realice la calibración del ME2C, se mantenga durante toda la operación dentro del intervalo:

$$T = (20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura habrá de anotarse, como mínimo, al comienzo y al final de la calibración, aunque es recomendable anotarla también aproximadamente cada hora.

- 5.2.3 Se prepararán adecuadamente los patrones a emplear en la calibración del ME2C (PP y BPL), desengrasando los BPL y limpiando todos ellos con papel y paños suaves, así como con algún disolvente adecuado, como por ejemplo una mezcla de alcohol y éter al 50 %.

En función del valor de la división de escala E del ME2C a calibrar, se utilizarán preferentemente BPL de las calidades (ref. [8]) que se indican y se anotarán los datos que se especifican, procedentes de sus certificados de calibración externa o de sus resultados de calibración interna.

E (mm)	CALIDADES DE BPL	DATOS
< 0,01	1 o superior	Valores certificados e incertidumbres de uso
\geq 0,01	2 o superior	Valores nominales e incertidumbres de uso.



- 5.2.4 Los patrones a emplear se situarán en la zona de calibración, y los BPL preferentemente sobre una base metálica, dejándolos estabilizar térmicamente al menos durante media hora.

El apoyo de los patrones sobre la base metálica se hará siempre por las caras laterales, no de medida, de los mismos.

- 5.2.5 Antes de proceder a la calibración propiamente dicha del ME2C, se efectuará una inspección visual del micrómetro para comprobar la correcta legibilidad de su escala, suavidad del movimiento de giro de la cabeza micrométrica, funcionamiento adecuado del limitador de par y del dispositivo de bloqueo del contacto móvil, etc.

Además, si procede, se limpiarán las dos caras de medida.

5.3. Proceso de Calibración

5.3.1. Comprobaciones previas

Con carácter previo a la calibración ha de comprobarse la planitud de cada una de las dos caras de medida del ME2C y cuando proceda, el paralelismo entre ambas.

Para las comprobaciones de planitud, se apoyará firme y sucesivamente un PP sobre cada cara de medida, tomando nota del número de franjas de interferencia que se observan. Esta operación se facilita mediante el empleo de una pantalla de luz monocromática (D-01.01 según referencia [6]) y requiere, por parte del operador, cierta habilidad manual para lograr una correcta adherencia entre el PP y la cara de medida del ME, que elimine en todo lo posible las franjas visibles para observar únicamente las debidas al defecto de planitud de la cara de medida del contacto.

De acuerdo con la normativa UNE (ref. [7] apartado 4.2), el defecto de planitud máximo admisible en cada cara de



medida de un micrómetro es $D_{PL} = 0,001 \text{ mm}$, lo cual equivale, aproximadamente, a 4 franjas de interferencia.

La comprobación del paralelismo entre las caras de medida de un ME2C sólo se suele realizar para micrómetros de campo de medida $C \leq 100 \text{ mm}$.

Para ello se coloca el PP entre los contactos del ME2C, y se actúa sobre la cabeza micrométrica, dando la fuerza de medida como si fuera a medirse; a continuación se observan ambas caras de medida, sumando el total de franjas de interferencia observadas que, según la normativa UNE (ref. [7] tabla I), no deberían determinar un defecto de paralelismo D_{PR} superior a los valores siguientes:

$C = 0 - 50 \text{ mm}$: $D_{PR} \leq 0,002 \text{ mm}$ (equivalente a 8 franjas)

$C = 50 - 100 \text{ mm}$: $D_{PR} \leq 0,003 \text{ mm}$ (equivalente a 12 franjas)

- NOTAS:
- 1 Para la comprobación del paralelismo entre caras de medida de un ME2C existen juegos de PP que por una parte permiten cubrir todo el campo de medida de aplicación, $C = (0 \div 100) \text{ mm}$, y por otra poseen diferentes longitudes para poder efectuar esta comprobación en diferentes posiciones de la rosca de precisión situada en el interior de la cabeza micrométrica; así por ejemplo es corriente el empleo de un juego de 4 patrones planoparalelos de vidrio con longitudes escalonadas a $0,125 \text{ mm}$, para comprobar el paralelismo en 4 posiciones a 90° entre sí, de una rosca de paso $p = 0,5 \text{ mm}$.
 - 2 Si no se dispone de los PP antes indicados, que son caros, puede trabajarse con solo uno pequeño adherido a un BPL de longitud adecuada para cubrir el campo de medida del



ME que se calibra y en este caso ha de situarse el PP primero sobre una de las caras de medida y posteriormente el BPL sobre la opuesta. Todo ello supone cierta habilidad manual de parte del operador.

- 3 Las comprobaciones previas de planitud y de paralelismo entre las caras de medida del ME2C expuestas en el presente apartado 5.3.1 podrían no efectuarse, con la consiguiente pérdida de calidad de la calibración que se efectúa.

Asimismo, y antes de iniciar la calibración propiamente dicha, es recomendable comprobar un posible desajuste del ME2C. Para ello se reiterarán 10 medidas en un punto de la escala libremente decidido, que puede ser el de contacto entre ambos topes en los ME2C de umbral nulo. La desviación media de las indicaciones del ME2C al valor del patrón medido determinará la conveniencia o no de efectuar el ajuste de escala (apartado 3.11).

A título orientativo, el ajuste debería efectuarse si resulta una desviación media igual o mayor que la división de escala en los ME2C con $E \geq 0,01$ mm, o cuando dicha desviación es igual o mayor que tres divisiones de escala en los ME2C con $E < 0,01$ mm.

Si al realizar la calibración se apreciase un desajuste importante en los puntos calibrados, debería reajustarse el ME2C utilizando la desviación media obtenida y repetirse la calibración.

5.3.2 Calibración

La calibración propiamente dicha del ME2C se realizará mediante BPL de las calidades indicadas en el apartado 5.2.3, pudiendo materializarse aquellos valores nominales para los que no se disponga del patrón adecuado mediante unión por adherencia de BPL de los valores apropiados; en



estos casos en los que el valor de la covarianza es probablemente muy elevado, puede ser prudente calcular la incertidumbre por adición lineal en vez de cuadrática.

En función del valor de la división de escala E del ME2C a calibrar, se trabajará en un número I de puntos de calibración, con un número J de reiteraciones de medida en cada punto, no inferiores a los valores de la tabla siguiente:

E (mm)	I	J
$< 0,01$	11	10
$\geq 0,01$	6	1 en $(I-1)$ puntos 10 en 1 punto

Los valores nominales de los I puntos de calibración se adoptarán de forma que resulten equidistantes o aproximadamente equidistantes dentro del valor del campo de medida C .

Así, por ejemplo, para un ME2C de $C = (0 - 25)$ mm, los nominales de los puntos de calibración podrían ser:

* Para $E = 0,01$ mm:

$$x_0 = (0 - 5 - 10 - 15 - 20 - 25) \text{ mm}$$

* Para $E = 0,001$ mm :

$$x_0 = (0 - 2 - 5,5 - 7,5 - 10 - 12,5 - 15 - 17,5 - 20 - 22,5 - 25) \text{ mm}$$

Existen juegos de BPL especialmente diseñados para la calibración de ME2C, cuyos valores difieren de los indicados en el ejemplo anterior en la oscilación de su cifra decimal, de forma que no se repita nunca, buscando así evitar posiciones homólogas de la rosca de precisión; un ejemplo



de estos valores de los puntos de calibración, que desde luego pueden emplearse, es el siguiente:

$$x_o = (0 - 2,5 - 5,1 - 7,7 - 10,3 - 12,9 \\ 15,0 - 17,6 - 20,2 - 22,8 - 25,0) \text{ mm}$$

De acuerdo con lo indicado en la tabla que antecede para ME con $E \geq 0,01$ mm bastará con estudiar la repetibilidad en un punto, elegido libremente, tomando en los restantes puntos de calibración una sola medida.

Según el tamaño del ME2C se procederá a obtener las indicaciones de calibración; así, con ME pequeños, lo más conveniente es colocarlos en un soporte y calibrar en la modalidad “instrumento fijo / pieza móvil”, mientras que con ME grandes, lo más conveniente es colocar el BPL sobre una placa metálica, en una mesa de trabajo y calibrar en la modalidad “instrumento móvil / pieza fija”.

Una última recomendación consiste en la conveniencia de ir variando la posición del BPL respecto del micrómetro tras cada medida, entre las dos posibles, de forma que para el caso $J = 10$, se obtengan 5 en cada una de las posibles colocaciones del patrón respecto de las caras de medida del micrómetro y para el caso $J = 1$, esta alternancia se produzca al variar de punto de calibración. Para la manipulación de los BPL conviene emplear un paño, a fin de no calentarlos, salvo que el operador trabaje con guantes, lo cual es siempre aconsejable.

5.4. Toma y tratamiento de datos

5.4.1 Micrómetros con $E < 0,01$ mm

Como ya se ha indicado en el apartado 5.2.3, han de emplearse BPL de calidad 1 o superior, tomándose nota de sus valores e incertidumbres de uso.



NOTA: Se considera también admisible emplear BPL de la calidad K (véase referencia [8]).

Se denominarán:

x_{ij} = medida de orden j en el punto i de calibración

($i = 1$ a I ; $I = 11$; $j = 1$ a J ; $J = 10$)

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

Se calcularán los parámetros siguientes:

5.4.1.1 \bar{x}_i = Valor medio de calibración en el punto i :

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

5.4.1.2 c_{ci} = Corrección de calibración en el punto i :

$$c_{ci} = x_{pi} - \bar{x}_i$$

5.4.1.3 s_i = Desviación típica de calibración en el punto i :

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

Con objeto de registrar menor número de cifras es frecuente anotar como indicaciones del ME las desviaciones de las mismas al nominal. Para ello es conveniente introducir las siguientes denominaciones adicionales:

d_{ij} = desviación al nominal de la medida de orden j en el punto i de calibración.



d_{pi} = desviación al nominal del patrón empleado para calibrar en el punto i .

Los parámetros antes indicados se expresan ahora en función de las desviaciones al nominal en la forma siguiente:

\bar{d}_i = Valor medio de la desviación de calibración en el punto i :

$$\bar{d}_i = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J d_{ij}$$

5.4.1.5 c_{ci} = Corrección de calibración en el punto i :

$$c_{ci} = d_{pi} - \bar{d}_i$$

5.4.1.6 s_i = Desviación típica de calibración:

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

5.4.2 Micrómetros con $E \geq 0,01$ mm

Como ya se ha indicado en el apartado 5.2.3, pueden emplearse BPL de calidad 2 o superior, admitiéndose trabajar con valores nominales de los patrones y deducir incertidumbres de sus clases de precisión o calidades.

Se denominarán:

x_i = medida en los puntos i de calibración (puntos de una medida).



x_{ij} = medida de orden j en el punto i de calibración elegido para estimar la repetibilidad ($j=1$ a J).

x_{pi} = valor del patrón empleado para calibrar en el punto i ($i=1$ a l).

Se calcularán los parámetros siguientes:

5.4.2.1 \bar{x}_i = Valor medio de calibración en el punto elegido para estimar la repetibilidad:

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

5.4.2.2 c_{ci} = Corrección de calibración en el punto i :

$$c_{ci} = x_{pi} - x_i \quad (\text{puntos de una medida})$$

$$c_{ci} = x_{pi} - \bar{x}_i \quad (\text{punto de } J \text{ medidas})$$

5.4.2.3 s_i = Desviación típica de calibración:

$$s_i^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (\text{en el punto de } J \text{ medidas})$$

Al igual que en 5.4.1, se pueden introducir las desviaciones al nominal mediante:

d_i = desviación al nominal en los puntos de una medida.

d_{ij} = desviación al nominal de la medida de orden j en el punto de repetibilidad.



d_{pi} = desviación al nominal del patrón empleado para calibrar en el punto i .

Los parámetros antes indicados se expresan ahora en función de las desviaciones al nominal en la forma siguiente:

5.4.2.4 \bar{d}_i = Valor medio de la desviación de calibración en el punto elegido para estimar la repetibilidad:

$$\bar{d}_i = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J d_{ij}$$

5.4.2.5 c_{ci} = Corrección de calibración en el punto i :

$$c_{ci} = d_{pi} - d_i \quad (\text{puntos de una medida})$$

$$c_{ci} = d_{pi} - \bar{d}_i \quad (\text{punto de J medidas})$$

5.4.2.6 s_i = Desviación típica de calibración:

$$s_i^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (d_{ij} - \bar{d})^2 \quad (\text{en el punto de J medidas})$$

6. RESULTADOS

Los resultados de la calibración se refieren a 20 °C, y a la misma temperatura se encuentran referidos los certificados de los patrones utilizados. 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, apartado 5.4, aunque es frecuente incorporar otras contribuciones como más adelante se indica. En particular, se considera la corrección por redondeo a la división de escala. 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 no se considera al asegurar una buena estabilidad térmica (5.2.4).

Los valores asignados a los patrones deben corresponder a las condiciones de uso en la calibración incorporando, en su caso, correcciones por deriva. De aquí en adelante se supone que las incertidumbres de los patrones son las incertidumbres de uso.

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

6.1. Cálculo de incertidumbres

6.1.1 Micrómetros con $E < 0,01$ mm

Utilizando letras mayúsculas para las variables aleatorias que representan el mensurando, de acuerdo con las referencias [3] y [4], cada una de las correcciones locales responde al siguiente modelo:

$$C_i = C_{ci} + C_E$$

donde:



$$C_{ci} = L_{pi} - \bar{L}_i$$

representa las correcciones de calibración c_{ci} determinadas en el apartado 5.4.1.

Por consiguiente, el modelo resultante es:

$$C_i = L_{pi} - \bar{L}_i + C_E$$

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 el apartado 5.4.1.3, s_i^2/J .

Se puede introducir la contribución debida a la división de escala, mediante una corrección de media nula, C_E , cuya varianza se obtiene de la hipótesis de distribución uniforme en un intervalo $\pm E/2$ siendo E la división de escala del ME2C. Su valor es:

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

Los estimadores de las variables y sus incertidumbres típicas se pueden recoger en forma de tabla según formato recomendado en la ref. [4] (tabla 1).



Tabla 1: Contribuciones a la incertidumbre combinada de las correcciones locales ($E < 0,01 \text{ mm}$)

Magnitud X_m	Estimación x_m	Incertidumbre típica $u(x_m)$	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad c_m	Contribución a la incertidumbre $u_m(c_i)$
L_{pi}	ℓ_{pi}	u_{pi}	Normal	1	u_{pi}
\bar{L}_i	$\bar{\ell}_i$	$\frac{s_i}{\sqrt{J}}$	Normal	-1	$-\frac{s_i}{\sqrt{J}}$
C_E	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	Rectangular	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$

C_i	$c_i = \sum_m x_m$	Incertidumbre combinada (u)	$u = \sqrt{\sum_m u_m^2(c_i)}$
		Incertidumbre expandida (U)	$U = k \cdot u$

La expresión de U^2 para la corrección de cada punto calibrado queda de la forma:

$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^3 u_m^2(c_i) = k^2 \left(u_{pi}^2 + \frac{s_i^2}{J} + \frac{E^2}{12} \right) \quad (1)$$

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



De acuerdo con el apartado F.2.4.5 de la referencia [3], es posible estimar una corrección única aplicable a cada escala longitudinal del instrumento que suele denominarse corrección global.

6.1.2 Micrómetros con $E \geq 0,01$ mm

Utilizando letras mayúsculas para las variables aleatorias que representan el mensurando, de acuerdo con las referencias [3] y [4], y procediendo de forma similar a la del epígrafe anterior, cada una de las correcciones locales responde al siguiente modelo:

$$C_i = C_{ci} + C_E$$

donde:

$$C_{ci} = L_{pi} - L_i \quad (\text{puntos de una medida})$$

$$C_{ci} = L_{pi} - \bar{L}_i \quad (\text{punto de J medidas})$$

representan las correcciones de calibración C_{ci} determinadas en el apartado 5.4.2.

Por consiguiente, el modelo resultante es:

$$C_i = L_{pi} - L_i + C_E \quad (\text{puntos de una medida})$$

$$C_i = L_{pi} - \bar{L}_i + C_E \quad (\text{punto de J medidas})$$

La incertidumbre típica del patrón en el punto i de calibración ($i = 1$ a l) es u_{pi} , valor correspondiente al del BPL, o composición de BPL.



La varianza de la media de las indicaciones en el punto de repetibilidad se obtiene a partir de 5.4.2.3, resultando s_i^2/J .

En los restantes puntos el valor estimado es s_i^2 .

Análogamente, para la contribución debida a las lecturas de la escala del ME2C, se introduce una corrección de media nula, C_E , cuya varianza se obtiene de la hipótesis de distribución uniforme en un intervalo $\pm E/2$ siendo E la división de escala del ME2C. Es decir:

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

Los estimadores de las variables y sus incertidumbres típicas se pueden recoger en forma de tabla según formato recomendado en la ref. [4].

En la tabla 2 se presentan los resultados para el punto de repetibilidad en el que la expresión de U^2 para la corrección responde a:

$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^3 u_m^2(c_i) = k^2 \left(u_{pi}^2 + \frac{s_i^2}{J} + \frac{E^2}{12} \right) \quad (2)$$

donde el subíndice m representa las filas de la tabla 2.

Tabla 2: Contribuciones a la incertidumbre combinada de las correcciones locales en el punto de repetibilidad ($E \geq 0,01$ mm)

Magnitud X_m	Estimación x_m	Incertidumbre típica $u(x_m)$	Distribución de probabilidad	Coficiente de sensibilidad c_m	Contribución a la incertidumbre $u_m(c_i)$
L_{pi}	ℓ_{pi}	u_{pi}	Normal	1	u_{pi}
\bar{L}_i	$\bar{\ell}_i$	$\frac{s_i}{\sqrt{J}}$	Normal	-1	$-\frac{s_i}{\sqrt{J}}$
C_E	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	Rectangular	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$

C_i	$c_i = \sum_m x_m$	Incertidumbre combinada (u)	$u = \sqrt{\sum_m u_m^2(c_i)}$
		Incertidumbre expandida (U)	$U = k \cdot u$

La tabla 3 recoge los resultados en los puntos de una medida, en los que la expresión de U^2 para la corrección adopta análogamente la forma:

$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^3 u_m^2(c_i) = k^2 \left(u_{pi}^2 + s_i^2 + \frac{E^2}{12} \right) \quad (3)$$

donde el subíndice m representa las filas de la tabla 3.



Tabla 3: Contribuciones a la incertidumbre combinada de las correcciones locales en los puntos de una medida ($E \geq 0,01$ mm)

Magnitud X_m	Estimación x_m	Incertidumbre típica $u(x_m)$	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad c_m	Contribución a la incertidumbre $u_m(c_i)$
L_{pi}	ℓ_{pi}	u_{pi}	Normal	1	u_{pi}
L_i	ℓ_i	s_i	Normal	-1	$-s_i$
C_E	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	Rectangular	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$

C_i	$c_i = \sum_m x_m$	Incertidumbre combinada (u)	$u = \sqrt{\sum_m u_m^2(c_i)}$
		Incertidumbre expandida (U)	$U = k \cdot u$

Asimismo, y de acuerdo con el apartado F.2.4.5 de la referencia [3], es posible estimar una corrección única aplicable a toda la escala del instrumento que suele denominarse corrección global.



6.2. Interpretación de resultados

La información mínima que debe figurar en el Certificado de Calibración junto a los resultados, es la correspondiente a las correcciones e incertidumbres locales del apartado 6.1.

De acuerdo con la referencia [3], las contribuciones de tipo A son suficientemente fiables cuando proceden de diez o más medidas repetidas, lo que se satisface en el modelo propuesto. EA recomienda el uso de una incertidumbre expandida que se corresponda con una probabilidad de cobertura 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 tres contribuciones (tablas 1, 2 y 3), 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.

La referencia [3] no permite redondeos que disminuyan el valor de la incertidumbre más de un 5 %. En todo caso, es conveniente aplicar el redondeo de la incertidumbre por exceso cuando se aprecie un desequilibrio importante en el valor de sus contribuciones.

Como el valor resultante de las medidas con un ME2C debe expresarse en múltiplos de la división de escala del instrumento, al igual que la incertidumbre de dicho valor, es conveniente que las correcciones locales y sus incertidumbres se ofrezcan con una cifra decimal respecto al valor de la división de escala, de forma



que el redondeo a la división de escala se produzca al final del proceso de elaboración del resultado.

Con carácter orientativo, puede establecerse un intervalo de recalibración de 12 meses para micrómetros de exteriores de dos contactos que se usen en laboratorios y puede aconsejarse un intervalo de 3 meses para micrómetros que se utilicen en peores condiciones.

7. REFERENCIAS

- [1] Procedimiento para la elaboración de procedimientos de calibración. Grupo de Trabajo MINER-CEM, 1ª Ed., 19 páginas, 1998.
- [2] Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados, Centro Español de Metrología, 3ª Ed., 2008, 88 págs., NIPO: 706-08-008-4.
- [3] Guide to the expression of uncertainty in measurement, International Organization for Standardization (ISO), 1ª Ed. corrected and reprinted, 101 pgs., ISBN 92-67-10188-9, 1995.
- [4] EA-4/02, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, European Cooperation for Accreditation (EA), Diciembre 1999.
- [5] EA-4/02-S1, Supplement 1 to EA-4/02, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Examples, European Cooperation for Accreditation (EA), Ed. 1, 28 pgs., 1997.
- [6] Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional, Centro Español de Metrología, 1ª Ed., 2005, 261 págs., Madrid.
- [7] Norma UNE 82306:1980, Micrómetros de exteriores, Asociación Española de Normalización (AENOR).



- [8] Norma UNE-EN ISO 3650:2000, Especificación geométrica de productos (GPS), Patrones de longitud. Bloques patrón, Asociación Española de Normalización (AENOR).



8. ANEXOS

8.1. Ejemplos numéricos

Se presentan a continuación los cálculos correspondientes a la calibración de dos ME2C, el primero milesimal y el segundo centesimal.

8.1.1. ME2C milesimal

El micrómetro considerado es un micrómetro de exteriores, con dos contactos planos, división de escala $E = 0,001$ mm y campo de medida $C = (0 - 25)$ mm.

La planitud y paralelismo de los contactos de analiza con un PP de vidrio, observándose dos y tres franjas de interferencia al aplicar sucesivamente el PP a los contactos, y un total de seis franjas cuando ambos contactos aprietan el PP. Los valores indicados son admisibles según el apartado 5.3.1.

Se decide calibrar el ME en los puntos de los valores nominales siguientes:

$(0 - 2,5 - 5 - 7,5 - 10 - 12,5 - 15 - 17,5 - 20 - 22,5 - 25)$ mm

utilizando BPL de calidad 1 de un juego de 112 piezas, con lo que no hay que efectuar adherencias.

Con objeto de comprobar el ajuste inicial del ME, se efectúan diez medidas sobre el BPL de 12,5 mm, registrándose las siguientes desviaciones al nominal:

$(+2, +1, +2, +2, 0, +2, +2, 0, +2, +2)$ μm

resultando un valor medio de $+1,5$ μm (desviación al nominal). El BPL utilizado tiene un valor certificado de 12,50011 mm por lo que la desviación del ME es:



$$(1,5 - 0,11) \mu\text{m} = 1,39 \mu\text{m} < 3 \mu\text{m} = 3E$$

y se decide no efectuar ajuste de su escala de acuerdo con la recomendación del apartado 5.3.1.

El ME2C se calibra en otros diez puntos ($l=11$) efectuándose diez medidas ($J=10$) sobre el patrón en cada uno de ellos. En el primer punto de calibración ($i = 1$) el patrón es el valor nulo (ausencia de BPL).

La temperatura de la sala se ha mantenido durante la calibración entre 18,6 °C y 20,5 °C.

En resumen, el modelo utilizado para la estimación de las correcciones locales, formulado en variables, es:

$$C_i = L_{pi} - \bar{L}_i + C_E$$

En la tabla 4 se recogen los valores de los patrones y de las mediciones efectuadas. En la segunda fila figuran las desviaciones certificadas para los BPL y en la tercera fila las incertidumbres de uso de los mismos.

Las tres últimas filas de la tabla 4 contienen el resultado de la calibración local en cada uno de los once puntos decididos, es decir, el valor estimado para la corrección local, el de su incertidumbre típica y la estimación de su incertidumbre expandida.

La incertidumbre expandida ($k = 2$) para la corrección de cada punto calibrado, expresión (1) de 6.1 que se recoge en la última fila de dicha tabla, coincide con:

$$U_i = 2 \sqrt{\left(u_{pi}^2 + \frac{s_i^2}{10} + \frac{E^2}{12} \right)}$$

Tabla 4: Toma y tratamiento de datos.

Campo de medida C=0 a 25 mm		División de escala $E=1\mu\text{m}$												
		0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25		
Valor nominal (mm)		...	-0,12	+0,10	+0,10	+0,10	-0,05	+0,11	-0,08	-0,01	+0,04	+0,22	-0,18	0,20
Desviación del patrón al nominal: d_{ps} (μm)		...	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20
Incertidumbre típica del patrón: u_{ps} (μm)		+1	-1	+1	-1	+2	+2	+2	+3	-2	-1	+1	-1	-1
Desviación al nominal de las indicaciones del ME al medir los patrones: d_{p} (μm)		0	0	+1	-2	-1	+1	+1	+1	-2	-1	+2	-2	-2
		0	-1	+1	-1	-2	+2	+4	+4	-1	0	+3	-1	-1
		+1	-2	0	-1	-1	+2	+2	+2	-1	-1	+1	0	0
		0	0	+1	0	+1	0	+2	+2	-2	0	+3	-2	-2
		+1	-2	+1	-1	+2	+2	+3	+3	-1	+1	+2	-1	-1
		+1	0	0	+1	+1	+1	+2	+1	-2	-1	+2	-1	-1
Valor medio \bar{d} (μm)		+1	0	+1	-1	-2	-1	-2	-1	-1	0	+3	-1	0
		+1	-1	0	0	+1	+1	+2	+4	+1	0	+1	0	0
Desviación típica: s_{d} (μm)		+0,6	-0,8	+0,7	-0,8	0,0	+1,5	+2,5	-1,2	-0,4	+2,0	-1,0	0,87	0,87
Corrección local: c_{d} (μm)		0,52	0,79	0,48	0,92	1,56	0,85	1,08	0,92	0,70	0,82	0,87	0,87	0,87
Incertidumbre típica de la corr. local: $u(c_{\text{d}})$ (μm)		-0,6	+0,7	-0,6	+0,9	-0,1	-1,4	-2,6	+1,2	+0,5	-1,8	+0,8	+0,8	+0,8
Incertidumbre típica de la corr. local: $u(c_{\text{d}})$ (μm)		0,33	0,41	0,36	0,44	0,59	0,42	0,47	0,44	0,39	0,42	0,41	0,41	0,41
Incertidumbre típica de la corr. local: $u(c_{\text{d}})$ (μm)		0,7	0,8	0,7	0,9	1,2	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8



Para cada uno de los puntos de calibración se puede elaborar una tabla similar a la tabla 1. La tabla 5 es la tabla correspondiente al punto de calibración de nominal 20 mm.

Tabla 5: Contribuciones a la incertidumbre combinada de la corrección local en el punto de calibración de nominal 20 mm ($E < 0,01$ mm)

Magnitud	Estimación	Incert. Típica	Distribución de probabilidad	Coefic. de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
X_m	X_m	$u(x_m)$		c_m	$u_m(c)$
L_{pi}	20 000,04	0,15	Normal	1	0,15
\bar{L}_i	19 999,6	0,22	Normal	-1	-0,22
C_E	0	0,29	Rectangular	1	0,29

C_i	0,44	Incertidumbre combinada (u)	0,39
		Incertidumbre expandida (U) con $k=2$	0,78

(Todos los valores en μm)

En este caso las tres contribuciones pueden considerarse equivalentes por lo que se adopta un valor de cobertura $k = 2$ y redondeando los resultados a la décima de micrómetro, de acuerdo con los criterios indicados en el apartado 6.2, resulta para la corrección local:

$$c_i = 0,5 \mu\text{m}$$



lo que significa que puede no aplicarse corrección alguna, por ser ésta inferior a la división de escala.

La incertidumbre expandida de la corrección local sería, redondeada a la décima de micrómetro:

$$U_i = 0,8 \mu\text{m}$$

para una probabilidad de cobertura del 95 %, aproximadamente.

De nuevo, esta incertidumbre puede redondearse a la división de escala, obteniéndose un valor $U = 1 \mu\text{m}$.

8.1.2. ME2C centesimal

El micrómetro considerado es un micrómetro de exteriores, con dos contactos planos, división de escala $E = 0,01 \text{ mm}$ y campo de medida $C = (75 \div 100) \text{ mm}$.

Se comprueba la planitud y paralelismo de los contactos según el apartado 5.3.1, observándose que las desviaciones son admisibles.

Se decide calibrar el ME en $l=11$ puntos (aunque sería admisible $l=6$) con los valores nominales siguientes:

$$(75 - 77,5 - 80 - 82,5 - 85 - 87,5 - 90 - 92,5 - 95 - 97,5 - 100) \text{ mm}$$

utilizando BPL de calidad 1 de un juego de 112 piezas, de forma que es imprescindible efectuar adherencias con el bloque de 75 mm por lo que la calibración se prolonga más al multiplicarse los periodos de estabilización térmica de los patrones.

Siguiendo la recomendación del apartado 5.2.3, se identifican los valores de los patrones con los de sus nominales, asignándoles las incertidumbres U típicas de uso



que figuran en la tercera fila de la tabla 6. De acuerdo con 5.3.2, las incertidumbres de los patrones formados por adherencia se han compuesto linealmente.

Se escoge el punto de nominal 87,5 mm como punto de repetibilidad, a la vez que se comprueba con los valores obtenidos si conviene ajustar la escala.

La temperatura de la sala se ha mantenido durante la calibración entre 19,3 °C y 20,4 °C.

En la tabla 6 se recogen los valores de los patrones y de las mediciones efectuadas.

El modelo resultante para la estimación de las correcciones locales se resume en:

$$C_i = L_{pi} - \bar{L}_i + C_E \quad (i = 6)$$

$$C_i = L_{pi} - L_i + C_E \quad (i \neq 6)$$

Las tres últimas filas de dicha tabla contienen, respectivamente, para cada punto de calibración, el valor estimado para la corrección local, el de su incertidumbre típica y la estimación de su incertidumbre expandida.

La incertidumbre expandida ($k = 2$) para la corrección de cada punto calibrado que figura en la última fila de dicha tabla 6, responde a la expresión (2) de 6.1 para el punto de repetibilidad ($i = 6$), y a la expresión (3) en los demás puntos, es decir:

$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^3 u_m^2(c_i) = k^2 \left(u_{pi}^2 + \frac{s_i^2}{J} + \frac{E^2}{12} \right) \quad (i = 6)$$



$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^3 u_m^2(c_i) = k^2 \left(u_{pi}^2 + s_i^2 + \frac{E^2}{12} \right) \quad (i \neq 6)$$

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en el punto de repetibilidad, se decide no ajustar la escala del ME.

Tabla 6: Toma y tratamiento de datos.

Campo de medida C= 75 a 100 mm	División de escala E=10 µm										
	75	77,5	80	82,5	85	87,5	90	92,5	95	97,5	100
Valor nominal (mm)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Desviación del patrón al nominal: d_y (µm)	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1
Incertidumbre típica del patrón: u_y (µm)	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01
Desviación al nominal De las indicaciones del ME al medir los patrones: d_y (mm)						0,00 0,00 -0,01 -0,01 0,00 0,00 0,00 -0,01 0,00 -0,01					
Valor medio \bar{d} (mm)	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,004	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01
Desviación típica: s_y (µm)						5,2					
Corrección local: c_1 (µm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inc. típica de la corr. local: $u(c_1)$ (µm)	6,03	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,08	6,08	6,08	6,08	6,04
Inc. expand. de la corr. local ($k = 2$): U_1 (µm)	12	12	12	12	12	7	12	12	12	12	12



La tabla 7 recoge el análisis del punto de calibración de nominal 85 mm.

Tabla 7: Contribuciones a la incertidumbre combinada de la corrección local en el punto de calibración de nominal 85 mm ($E \geq 0,01$ mm)

Magnitud	Estimación	Incert. Típica	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
X_m	X_m	$u(X_m)$		c_m	$u_m(c)$
L_{pi}	85 000	1,2	Normal	1	1,2
L_i	85 000	5,2	Normal	-1	-5,2
C_E	0	2,9	Rectangular	1	2,9

C_i	0,0	Incertidumbre combinada (u)	6,1
		Incertidumbre expandida (U) con $k = 1,95$	11,9

(Todos los valores en μm)

Dos contribuciones son mayoritarias (normal y rectangular) frente a la tercera (normal) por lo que conviene comprobar la hipótesis de $k = 2$. El resultado de la convolución numérica entre las tres determina $u = 6,1 \mu\text{m}$ y $k = 1,95$, por lo que $U = 11,9 \mu\text{m}$, valores recogidos en la tabla 7. Si no se considera la contribución minoritaria, de la convolución de las otras dos contribuciones resulta $u = 6,0 \mu\text{m}$, $k = 1,95$ y $U = 11,6 \mu\text{m}$.



Dado que el ME es centesimal, la incertidumbre expandida de la corrección local (nula), para el punto de nominal 85 mm, redondeada a la cifra de los micrómetros, es:

$$U_i(k = 1,95) = 12 \mu\text{m}$$

valor que también se obtiene cuando se suprime la contribución minoritaria.

Esta incertidumbre puede redondearse sin mayor problema a la baja, a la división de escala, dada su cercanía, obteniéndose un valor $U = 10 \mu\text{m}$

Además, con el criterio de redondeo utilizado, también es indiferente utilizar $k = 1,95$ o $k = 2$, pues las variaciones se producen en el orden de magnitud inferior. Por este motivo se han recogido los valores de la incertidumbre expandida en la última fila de la tabla 7 para $k = 2$.

