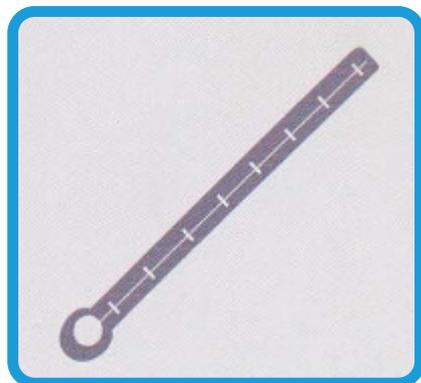
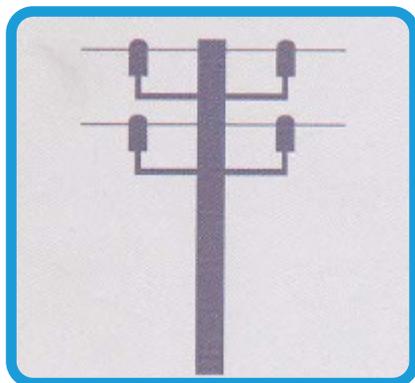
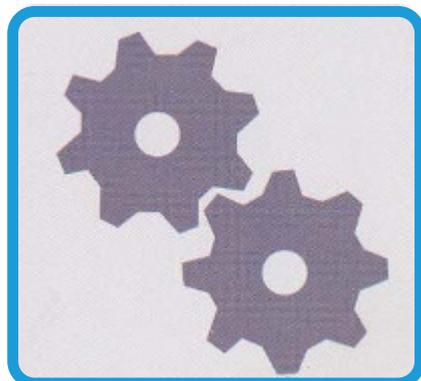
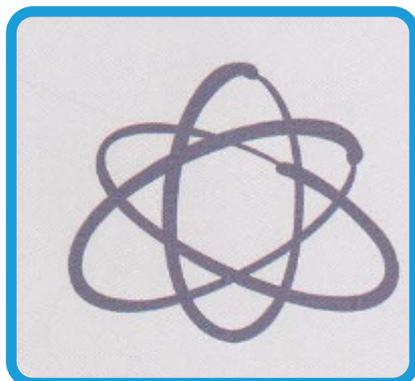
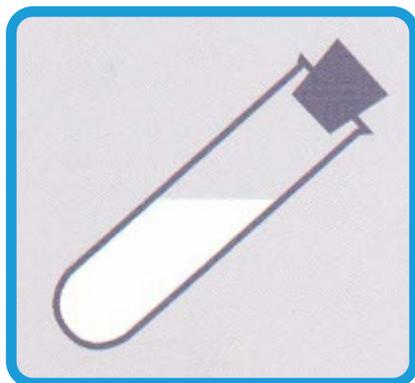
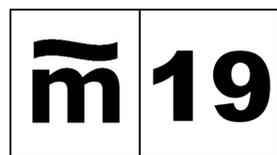


Metrología



PROCEDIMIENTO DI-002 PARA LA
CALIBRACIÓN DE BANCOS DE
CALIBRACIÓN DE COMPARADORES



PROCEDIMIENTO DI-002

CALIBRACIÓN DE BANCOS DE CALIBRACIÓN DE COMPARADORES

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

Los procedimientos editados por el CEM presentan modelos de calibración, en línea con documentos clave universales como son el Sistema Internacional de unidades (SI), el Vocabulario internacional de metrología (VIM) o la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM). Como modelos que son, los usuarios de los mismos pueden, bajo su responsabilidad, modificarlos para adecuarlos a sus necesidades específicas (instrumentación, condiciones ambientales, etc.). En tal caso, siempre deberá primar el sentido crítico y la ética profesional.

El CEM no acepta ninguna responsabilidad derivada de la interpretación y/o uso de este procedimiento.

El CEM no mantiene correspondencia sobre el contenido de los procedimientos.

ÍNDICE

	Página
1. OBJETO	3
2. ALCANCE	3
3. DEFINICIONES	3
3.1 Contacto móvil	3
3.2 Mando de desplazamientos	4
3.3 Escala de lectura	4
3.4 Elementos de sujeción	4
3.5 Regulador de cero	4
3.6 Ajuste de cero	4
3.7 Sentidos de desplazamiento	4
3.8 Elemento de puesta a cero	4
4. GENERALIDADES	4
5. DESCRIPCIÓN	5
5.1 Equipos y materiales	5
5.2 Operaciones previas	5
5.3 Proceso de calibración	7
5.4 Toma y tratamiento de datos	10
6. RESULTADOS	13
6.1 Cálculo de incertidumbres	13
6.2 Interpretación de resultados	15
7. REFERENCIAS	15
8. ANEXO	16
8.1 Ejemplo numérico	16

1. OBJETO

El presente PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN tiene por objeto exponer dos posibles métodos de calibración para los BANCOS DE CALIBRACIÓN DE COMPARADORES (BCC), codificados como D-03.08 según la Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional (ref. [5]), actualizando el proceso de calibración de la ref. [6]. En lo que sigue se empleará la abreviatura BCC 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] y [4].

2. ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a bancos de calibración de comparadores, generalmente de amplificación mecánica pura o con un palpador de tipo electrónico, instrumentos de alta precisión en metrología dimensional.

Los BCC son elementos un tanto especiales dentro del área de la metrología dimensional, pues se trata de instrumentos (con campo de medida C y división de escala E), que no se utilizan para medir sino exclusivamente para calibrar a otros instrumentos denominados comparadores (D-03.01, D-03.03 y D-03.04, según referencia [5]). Son por tanto lo que en otras áreas metrológicas se denominan "instrumentos calibradores", instrumentos diseñados específicamente como patrones para la calibración de otros instrumentos.

Su empleo queda justificado por la gran cantidad de comparadores de que suelen disponer las industrias de todo tipo, especialmente las de fabricación mecánica, cuya calibración sería mucho más compleja y costosa si no se dispusiera de los BCC, que automatizan y facilitan enormemente la misma. Este procedimiento se aplica para los valores de campo de medida C y división de escala E que se indican a continuación:

C (mm)	E (mm)
≤ 25	$\geq 0,001$
≤ 5	$\geq 0,000 1$

Los BCC pueden ser tanto de tipo analógico (normalmente los de amplificación mecánica pura), como digital (normalmente los que incorporan un palpador electrónico).

El hecho de tratarse de un instrumento patrón con bajos valores de división de escala E justifica las restricciones de empleo a que han de someterse, en cuanto a exigencias de limpieza, temperatura ambiental, protección antivibraciones, etc.

3. DEFINICIONES

3.1. Contacto móvil:

Elemento que se desplaza al accionar manualmente el mando correspondiente del BCC y actúa sobre el comparador que se calibra (calibrando), para poder comparar su desplazamiento con el desplazamiento patrón proporcionado por el BCC.

3.2. Mando de desplazamientos:

Elemento sobre el que se actúa manualmente en el BCC para desplazar el contacto móvil. En unos casos es una cabeza micrométrica con rosca de alta precisión, pequeño recorrido total y gran diámetro para la escala de lectura, o un disco de gran diámetro, también con rosca de alta precisión y mayor recorrido total (modalidades propias de los BCC de lectura analógica), y en otros casos es un mero mando de giro para el desplazamiento sobre una rosca de precisión media, que se mide e indica por un palpador electrónico (modalidad propia de los BCC de lectura digital).

3.3. Escala de lectura:

Las de tipo analógico van grabadas en la periferia de la cabeza micrométrica o del disco y las de tipo digital se presentan en el lector del palpador electrónico.

3.4. Elementos de sujeción:

Conjunto de elementos mecánicos que permiten bridar el comparador a calibrar de forma adecuada, para que su palpador pueda efectuar los desplazamientos a que le obligue el contacto móvil del BCC.

Tienen que disponer de la posibilidad de regulación fina del calibrando en varias direcciones, a fin de que los comparadores rectos puedan situarse perpendicularmente a la cara de medida del contacto móvil, eliminando en todo lo posible el error de coseno. Es deseable que puedan también bridar adecuadamente comparadores de palanca.

3.5. Regulador de cero:

Mecanismo que permite, dentro de una pequeña zona de desplazamientos, efectuar el ajuste de cero del comparador calibrando con el BCC.

3.6. Ajuste de cero:

Operación mediante la que, una vez en contacto el palpador del comparador a calibrar con la cara de medida del contacto móvil del BCC, se pueden colocar en lectura cero tanto la escala del comparador como la del BCC.

3.7. Sentidos de desplazamiento:

En un BCC se denomina sentido de desplazamientos crecientes al correspondiente al sentido creciente de su escala de lectura y sentido de desplazamientos decrecientes al sentido contrario.

3.8. Elemento de puesta a cero:

Comparador electrónico auxiliar que se emplea en uno de los dos métodos posibles de calibración, con la única misión de asegurar la misma posición de referencia o puesta a cero, en los diferentes puntos de calibración.

4. GENERALIDADES

Los BCC son instrumentos de metrología dimensional de alta precisión, que trabajan en la modalidad "instrumento fijo / calibrando móvil" y en este sentido podrían también considerarse como no portátiles, aunque por sus dimensiones y peso no sea difícil transportarlos de un lugar a otro.

En los de tipo mecánico puro, correspondientes por lo general a escalas de lectura analógica, la amplificación se logra bien por una nueva rosca micrométrica de precisión, con lo que su división de escala es $E \geq 0,001$ mm, o bien por una rosca micrométrica de precisión y una palanca, también de precisión, y entonces se consiguen valores de división de escala $E \geq 0,0001$ mm.

En los que incorporan un palpador electrónico, que generalmente es de tipo inductivo, es éste el elemento transductor que proporciona la amplificación, consiguiéndose valores de división de escala de valor $E \geq 0,0001$ mm.

En todo caso, los BCC son patrones de desplazamientos longitudinales rectos, magnitud ésta que es la que ha de calibrarse.

En este procedimiento se utilizan las siguientes abreviaturas:

BCC:	Banco de calibración de comparadores.
BPL:	Bloque patrón longitudinal.
CE:	Comparador electrónico.
M3C:	Medidora de tres coordenadas.
PP:	Patrón de planitud.

5. DESCRIPCIÓN

5.1. Equipos y materiales

Para la calibración de la escala lineal de un BCC y siguiendo el principio fundamental en metrología de calibrar de la forma más similar posible a como se mide, se emplearán los patrones que se indican y que dan nombre a los dos métodos que se van a exponer:

- * Bloques patrón longitudinales (BPL; D-01.02 según referencia [5]) de calidad 0 o K (ref. [7]), junto con un comparador electrónico (CE; D-03.03 según referencia [5]) de división de escala $E = 0,01$ μm . Con estos patrones se aplica el método de calibración de mayor precisión, adecuado a BCC de división de escala $E \geq 0,0001$ mm.
- * Medidoras de tres coordenadas (M3C; D-02.07 según referencia [5]) de división de escala $E = 0,0001$ mm. Con este instrumento se aplica el método de calibración de menor precisión, adecuado solamente a BCC de división de escala $E \geq 0,001$ mm.

Además, en ambos métodos y para la operación complementaria de comprobación previa del defecto de planitud de la cara de medida del contacto móvil (apartado 3.1), se empleará también un patrón de planitud de vidrio (PP; D-06.04 según referencia [5]).

NOTA: La función del PP puede efectuarse análogamente mediante un patrón plano-paralelo de vidrio (D-06.15 según referencia [5]), si por cualquier razón ello se considera más adecuado.

También puede ser necesario emplear una mesa auxiliar regulable.

5.2. Operaciones previas

5.2.1 Para poder emitir un certificado de calibración de un BCC, 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 deben encontrarse preferiblemente grabados sobre la carcasa del propio BCC o bien en 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 BCC.

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 BCC, se mantenga durante toda la operación en el 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.

NOTA: Ya se indicó en el apartado 2 que el carácter de instrumento patrón de alta precisión de los BCC, con bajos valores de división de escala *E*, exige unas condiciones bastantes restrictivas para su calibración, que de hecho debe realizarse en una sala acondicionada con características propias de un laboratorio de metrología.

- 5.2.3 Se prepararán adecuadamente los patrones o el instrumento patrón a emplear en la calibración del BCC.

- 5.2.3.1 Método de los BPL y CE (véase el apartado 5.1): se desengrasan los BPL y se limpian todos ellos con papel y paños suaves, así como con algún disolvente adecuado, como por ejemplo una mezcla de alcohol y éter al 50%.

Para esta calibración es necesario anotar los valores e incertidumbres de los BPL a emplear, procedentes de sus datos históricos de calibración.

Respecto del CE, que se va a utilizar únicamente como índice de puesta a cero, es necesario anotar el valor de su reproducibilidad (repetibilidad más deriva para la duración de la calibración), que podría estar representada por el parámetro de desviación típica de calibración (s_{CE}), procedente de sus datos históricos de calibración.

NOTA: Si sólo se dispone del valor de la incertidumbre U_{CE} del comparador electrónico, para un cierto factor de cobertura k , se tomará su incertidumbre típica u_{CE} en lugar de s_{CE} :

$$u_{CE} = \frac{U_{CE}}{k}$$

Esto supone incrementar algo su contribución de incertidumbre para la función que realiza en el método de calibración.

Y si no se dispone de datos de calibración, la experiencia permite tomar, para un CE de división de escala $E = 0,000\ 01\ \text{mm}$, un valor (estimación de tipo B según la ref. [3]):

$$s_{CE} \leq 0,000\ 1\ \text{mm}$$

5.2.3.2 Método de la M3C (véase el apartado 5.1): se encenderá la medidora y se procederá a sus ajustes previos, fundamentalmente a la calibración del palpador a utilizar mediante su bola patrón de ajuste o patrón de función análoga.

5.2.4 En el método de BPL y CE, los patrones a emplear se situarán en la zona de calibración, los BPL preferentemente sobre una base metálica dejándolos estabilizar térmicamente al menos durante una hora. El apoyo de los patrones sobre la base metálica se hará siempre por las caras laterales, no de medida, de los mismos.

El CE se bridará en un soporte de comparador (D-03.05 según referencia [5]) que permita regulación fina de posicionamiento y se conectará a su lector; en este caso, el periodo de conexión previo a su empleo deberá consultarse en su manual técnico.

En el método de la M3C se situará el BCC calibrando sobre la mesa de apoyo de la máquina, dejándolo estabilizar térmicamente al menos durante una hora.

NOTA: Normalmente el BCC está construido de forma que al situarlo sobre la mesa de la M3C su contacto móvil se desplaza muy aproximadamente según la dirección del eje Z (vertical) de la M3C, haciendo despreciable al error de coseno en la calibración.

Si de alguna forma se constatase que esto no es así, por observación visual, por comprobación complementaria de cualquier tipo o incluso por deducción a partir de los propios resultados de la calibración, sería necesario situar el BCC sobre una mesa soporte regulable y proceder a su nivelación hasta lograr que el contacto móvil se mueva según el eje Z.

5.2.5 Antes de proceder a la calibración propiamente dicha del BCC, se efectuará una inspección visual del mismo, para comprobar la correcta legibilidad de su escala analógica o visibilidad de su escala digital, suavidad del movimiento de giro que proporciona el avance del contacto móvil, tanto en sentido creciente como decreciente, correcto desplazamiento del CE y visibilidad de su escala digital, etc.

5.3. Proceso de Calibración

5.3.1. Comprobación previa

Con carácter previo a la calibración, en cualquiera de los dos métodos que se exponen, ha de comprobarse la planitud de la cara de medida del contacto móvil del BCC, mediante un patrón de planitud de vidrio o un patrón plano-paralelo de vidrio (que se denominará PP sea cualquiera el que se use, como ya se adelantó en el apartado 5.1).

Para ejecutar esta comprobación de planitud se apoyará firmemente el PP sobre la 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 y requiere, por parte del operador, cierta habilidad manual para lograr una correcta adherencia entre el PP y la cara de medida del BCC, que elimine en todo lo posible las franjas visibles para observar únicamente las debidas al efecto de planitud de la cara de medida del contacto.

Por similitud con otros instrumentos de metrología dimensional y de acuerdo con la normativa UNE (ref. [8] apartado 4.2 y ref. [9]), podría aceptarse el criterio de que el defecto de planitud máximo admisible de la cara de medida del contacto móvil de un BCC sea $D_{PL} = 0,001$ mm, lo cual equivale, aproximadamente, a 4 franjas de interferencia.

NOTA: La anterior comprobación previa de planitud podría no efectuarse, con la consiguiente pérdida de calidad de la calibración que se efectúa.

5.3.2 Calibración según el método de los BPL y CE

El método que se desarrolla en el presente apartado, adecuado a BCC de división de escala $E \geq 0,0001$ mm, se basa en el empleo de BPL de las calidades indicadas en el apartado 5.1, 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 del conjunto por adición lineal de las incertidumbres de cada uno de los bloques que forman parte de la composición, en vez de cuadrática.

El número de puntos de calibración será $I = 10$, repartidos de forma aproximadamente equidistante a lo largo de la escala del BCC y el número de reiteraciones de medida en cada punto de calibración será $J = 10$. Además, la calibración se reiterará completamente tanto en sentido creciente de medida como en sentido decreciente (apartado 3.7).

Una vez situado el BCC sobre una mesa, se acercará el CE bridado en un soporte, situándolo de forma que quede perpendicular a la cara de medida del BCC y a una distancia aproximada igual al mayor de los BPL de calibración. Ha de procurarse que todo este montaje permanezca estable durante toda la calibración.

Con la escala del BCC en su punto cero, se sitúa el BPL mayor sobre el contacto móvil del BCC, efectuando una buena unión entre ambos, casi de tipo adherente y se regula la posición del CE efectuando contacto sobre la otra cara de medida del BPL y regulando también su escala a cero.

A continuación se retira el BPL, se sustituye por el inmediatamente inferior con las mismas precauciones de posicionamiento y se actúa sobre el mando del BCC, en sentido creciente hasta efectuar contacto con el CE y lograr lectura cero en su escala; en este momento, puede procederse a leer en la escala del BCC la segunda indicación de calibración (la primera, correspondiente al BPL mayor es siempre cero, por ajuste).

NOTA: Con la metodología del párrafo precedente, el intervalo entre cada dos puntos consecutivos de calibración se recorre con el BPL unido al contacto móvil girando a la vez que sube. Si se prefiere puede avanzarse casi todo este intervalo en vacío y situar el BPL después, para avanzar el pequeño recorrido restante hasta obtener de nuevo el cero del comparador.

Se reitera lo anterior para todos los puntos de calibración, anotando las indicaciones de calibración o sus desviaciones a los valores nominales con apreciación igual a la división de escala del BCC y tras ello se reitera toda la calibración en sentido decreciente, efectuando ahora el ajuste en el extremo de la escala (alcance) sobre el BPL menor y

sustituyéndolo por el inmediatamente superior de forma sucesiva. En la calibración según el sentido decreciente es obligatorio, evidentemente, bajar el contacto móvil en vacío hasta un valor cercano al final del recorrido entre los dos puntos consecutivos de calibración y proceder entonces a situar el BPL mayor, aprovechando la posibilidad de retracción del CE para luego alcanzar su cero finalizando el recorrido del BCC hasta el punto de calibración.

Todas estas operaciones han de reiterarse $J = 10$ veces.

NOTAS: 1 Es necesario que la puesta a cero del CE para la calibración en sentido creciente se efectúe siempre con movimiento en sentido creciente del contacto móvil del BCC y que la puesta a cero del CE para la calibración en sentido decreciente se efectúe siempre con movimiento en sentido decreciente del contacto móvil del BCC.

2. Para ciertos valores del campo de medida C del BCC será fácil disponer de BPL correspondientes a todos los puntos de calibración y sin ningún BPL para el último punto. Así por ejemplo, para $C = 5$ mm, los BPL a emplear serán los de nominales siguientes, en mm:

$$5 - 4,5 - 4 - 3,5 - 3 - 2,5 - 2 - 1,5 - 1 - 0,5 - 0$$

Para otros valores de C , como ya se ha indicado anteriormente, serán imprescindibles algunas uniones de BPL. Así, por ejemplo, una posible solución para $C = 3$ mm, sería:

$$4 - (2+1,7) - (2+1,4) - (2+1,1) - (1+1,8)$$

$$2,5 - (1+1,2) - 1,9 - 1,6 - 1,3 - 1$$

3 El método expuesto requiere un operador con experiencia y habilidad en el área de la metrología dimensional, lo que lo convierte, junto con lo ya indicado en los apartados 2 y 5.2.2, en un método propio de laboratorio.

5.3.3 Calibración según el método de la M3C

El método que se desarrolla en el presente apartado, adecuado a BCC de división de escala $E \geq 0,001$ mm, se basa en el empleo como instrumento patrón de una máquina medidora de tres coordenadas de división de escala $E = 0,000 1$ mm y en la que sería deseable una incertidumbre $U \leq 0,000 5$ mm en su eje Z , para factor de cobertura $k = 2$.

El número de puntos de calibración es $I = 10$, repartidos de forma aproximadamente equidistante a lo largo de la escala del BCC, y el número de reiteraciones de medida en cada punto de calibración será $J = 10$. Además, la calibración se reiterará completamente tanto en sentido creciente de medida como en sentido decreciente (apartado 3.7).

Una vez situado el BCC sobre la mesa de apoyo de la M3C o sobre una mesa auxiliar regulable (véase la nota del apartado 5.2.4), de forma que la cara de medida del contacto móvil quede situada perpendicularmente al movimiento del palpador de la M3C según su eje Z , se lleva su escala al punto cero y se efectúa el contacto con el palpador de la medidora anotando la primera indicación de medida que se adopta como referencia.

Tras ello se van dando avances en sentido creciente al contacto móvil del BCC, anotando las indicaciones sucesivas de la M3C. Normalmente será necesario retirar el palpador para

dar el avance y volver a efectuar el contacto en el punto de calibración siguiente, pero en todo caso se pondrá especial cuidado en mantener siempre el sentido creciente de desplazamiento del BCC.

Al acabar la calibración en sentido creciente se procederá a efectuar la calibración en sentido decreciente, con las mismas precauciones.

Toda esta operación ha de reiterarse $J = 10$ veces.

Como se deduce de lo expuesto el método de la M3C es mucho más sencillo, en cuanto a operatividad, que el método de los BPL y CE.

5.4. Toma y tratamiento de datos

5.4.1 Método de los BPL y CE

Como ya se ha indicado en los apartados 5.1 y 5.2.3.2, han de emplearse BPL de calidad 0 o superior, tomándose nota de sus valores e incertidumbres procedentes de su historial de calibración; también, ha de tomarse nota del valor de la incertidumbre del CE.

Se denominarán:

x_{ijC} = medida de orden j en el punto i de calibración, en sentido creciente.

x_{ijD} = medida de orden j en el punto i de calibración, en sentido decreciente.

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

x_{pi} = valor del patrón empleado para calibrar en el punto i (cuando se trabaja en sentido creciente este valor es la diferencia entre el BPL mayor y el BPL correspondiente al punto de calibración; sin embargo, cuando se trabaja en sentido decreciente, este valor es la diferencia entre el valor de ajuste del BCC (A) más la longitud del BPL menor, longitud que será cero si este BPL no existe, y el del BPL correspondiente al punto de calibración).

Se calcularán los parámetros siguientes:

1) \bar{x}_{iC} = Valor medio de calibración en el punto i , en sentido creciente:

$$\bar{x}_{iC} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J x_{ijC}$$

2) \bar{x}_{iD} = Valor medio de calibración en el punto i , en sentido decreciente:

$$\bar{x}_{iD} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J x_{ijD}$$

3) c_{ciC} = Corrección de calibración en el punto i , en sentido creciente:

$$c_{ciC} = x_{pi} - \bar{x}_{iC}$$

4) c_{iD} = Corrección de calibración en el punto i , en sentido decreciente:

$$c_{iD} = x_{pi} - \bar{x}_{iD}$$

5) s_{iC} = Desviación típica de calibración en punto i , en sentido creciente:

$$s_{iC}^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (x_{ijC} - \bar{x}_{iC})^2$$

6) s_{iD} = Desviación típica de calibración en punto i , en sentido decreciente:

$$s_{iD}^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (x_{ijD} - \bar{x}_{iD})^2$$

5.4.2 Método de la M3C

Como ya se ha indicado en los apartados 5.1 y 5.3.3, ha de emplearse una M3C con división de escala $E = 0,0001$ mm, siendo además deseable que la incertidumbre de su eje Z, para un factor de cobertura $k = 2$, no supere el valor $U = 0,0005$ mm.

Se denominarán:

z_{ijC} = indicación de la M3C en la medida de orden j en el punto i de calibración, en sentido creciente.

z_{ijD} = indicación de la M3C en la medida de orden j en el punto i de calibración, en sentido decreciente.

$$(i = 1 \text{ a } I; I = 10; j = 1 \text{ a } J; J = 10)$$

z_{ojC} = indicación de la M3C en la medida sobre el contacto móvil del BCC al principio de la serie j , en sentido creciente (escala del BCC ajustada a cero).

z_{ojD} = indicación de la M3C en la medida sobre el contacto móvil del BCC al principio de la serie j , en sentido decreciente (escala del BCC ajustada al valor A que corresponde al último punto de calibración decidido).

Los patrones de calibración se obtienen en este caso a partir de los desplazamientos del eje vertical Z de la M3C, resultando, en el sentido creciente:

$$x_{pijC} = z_{ijC} - z_{ojC}$$

y dado que las diferencias en las sucesivas series será muy pequeña, se adoptará como patrón en el punto i , en sentido creciente, el valor:

$$x_{piC} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J x_{pijC}$$

Análogamente, en sentido decreciente se tiene:

$$x_{piD} = A - (z_{oiD} - z_{ijD})$$

y el patrón en el punto i, en sentido decreciente, es:

$$x_{piD} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J x_{pijD}$$

En cuanto a las indicaciones del BCC, se actuará sobre el mando de desplazamientos para que, en cada punto de calibración, la lectura de la escala sea la misma en las sucesivas series de desplazamientos crecientes o decrecientes. En consecuencia, se denominarán:

x_{iC} = valor del desplazamiento indicado por el BCC en el punto i, en cualquiera de las series de sentido creciente.

x_{iD} = valor del desplazamiento indicado por el BCC en el punto i, en cualquiera de las series de sentido decreciente.

NOTA: Con estas definiciones los datos de calibración tienen ya una estructura similar a la del método de los BPL y CE (apartado 5.4.1) y se pueden establecer los parámetros característicos de la calibración.

En concreto, se calcularán los parámetros siguientes:

1) c_{ciC} = Corrección de calibración en el punto i, en sentido creciente:

$$c_{ciC} = x_{piC} - x_{iC}$$

2) c_{ciD} = Corrección de calibración en el punto i, en sentido decreciente:

$$c_{ciD} = x_{piD} - x_{iD}$$

3) s_{iC} = Desviación típica de calibración en el punto i, en sentido creciente:

$$s_{iC}^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (x_{pijC} - x_{piC})^2$$

4) s_{iD} = Desviación típica de calibración en el punto i, en sentido decreciente:

$$s_{iD}^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (x_{pijD} - x_{piD})^2$$

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, apartados 5.4.1, 3) y 4), o 5.4.2, 1) y 2), aunque es frecuente incorporar otras contribuciones como más adelante se indica. 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. En el presente análisis se supone que las condiciones térmicas del local aseguran una buena estabilidad entre aquellos por lo que no se consideran contribuciones debidas a la temperatura.

Los valores asignados a los patrones deben corresponder a las condiciones de uso en la calibración por lo que deberá justificarse si se aplican, o no, correcciones por deriva. En el presente modelo no se han tenido en cuenta por considerar que las variaciones correspondientes ya están incorporadas en la incertidumbre que se utiliza para cada BPL.

No se consideran otras correcciones distintas de las indicadas, lo que no exime al responsable de la calibración del BCC 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 mensurando, de acuerdo con las referencias [3] y [4], cada una de las correcciones locales responde al siguiente modelo:

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

donde:

$$C_{ci} = X_{pi} - \bar{X}_i$$

representa las correcciones de calibración c_{ci} determinadas en el apartado 5.4.

Por consiguiente, el modelo resultante es:

$$C_i = X_{pi} - \bar{X}_i + C_{CE} + C_E$$

Esta expresión y las siguientes no especifican el sentido del movimiento del BCC, creciente o decreciente, pues son aplicables a cualquiera de ambos supuestos. Asimismo, el modelo anterior, aplicable a la calibración con BPL y CE (parámetros en apartado 5.4.1), también es válido para la calibración con M3C (parámetros en apartado 5.4.2), sin más que suprimir la contribución del comparador electrónico que no existe en este caso.

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, en la calibración con BPL y CE, o incertidumbre típica de la M3C al medir según el eje Z.

La varianza de la media de las indicaciones del BCC al enfrentarse al patrón anterior es, según 5.4.2 o 5.4.3, s_i^2/J .

La contribución debida a las lecturas del BCC según un múltiplo de la división de escala, se introduce con 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 BCC.

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

Asimismo, la contribución del CE de puesta a cero puede incorporarse de forma similar mediante una corrección de media nula, C_{CE} , y varianza $u^2(c_{CE}) = u_{CE}^2$ (apartado 5.2.3). La varianza se obtiene del certificado de calibración y se admite que la distribución es normal.

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).

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

$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^4 u_m^2(c_i) = k^2 \left(u_{pi}^2 + \frac{s_i^2}{J} + u_{CE}^2 + \frac{E^2}{12} \right) \quad (1)$$

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

Tabla 1: Contribuciones a la incertidumbre combinada de las correcciones locales

Magnitud	Estimación	Incertidumbre típica $u(x_m)$	Distribución de probabilidad	Coficiente de sensibilidad c_m	Contribución a la incertidumbre $u_m(c_i)$
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_{CE}	0	u_{CE}	Normal	1	u_{CE}
C_E	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	Uniforme	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)			$U = k \cdot u$

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 es la correspondiente a las correcciones e incertidumbres locales del apartado 6.1.

De acuerdo con la referencia [3], las contribuciones 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 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), que pueden reducirse a tres en el caso de la calibración con M3C, 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 BCC debe expresarse en múltiplos de la división de escala del instrumento, así como la incertidumbre de aquél 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, se recomienda un intervalo de calibración máximo de 36 meses para BCC de laboratorios, que debe reducirse a 24 meses como máximo para BCC en peores condiciones.

7. REFERENCIAS

- [1] Procedimiento para la elaboración de procedimientos de calibración. Grupo de Trabajo MINER-CEM. Ed. 2, Tres Cantos, Madrid. Año 2000.
- [2] Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados. 3ª edición 2012 (Ed. VIM 2008 con inclusión de pequeñas correcciones), Centro Español de Metrología, 2012.
- [3] 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.

- [4] Guide EA-4/02 M: 2013, Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Sept. 2013, rev. 01.
- [5] Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional. 1ª ed. Centro Español de Metrología, 2005, NIPO: 165-02-003-4.
- [6] Proceso de Calibración D-012 para banco de calibración de comparadores D-03.08. Sistema de Calibración Industrial (SCI). 2ª Ed., 13 páginas, 1993, Madrid.
- [7] Norma UNE-EN ISO 3650:2000, Especificación geométrica de productos (GPS). Patrones de longitud. Bloques patrón. (ISO 3650:1998).
- [8] Norma UNE 82306:1980, Micrómetros de exteriores.
- [9] UNE-EN ISO 3611:2012, Especificación geométrica de productos (GPS). Equipos de medición dimensional. Micrómetros de exteriores. Diseño y características metrológicas. (ISO 3611:2010).

8. ANEXO

8.1. Ejemplo numérico

Se presenta en este ejemplo el resultado de la calibración de un BCC de campo de medida $C = 0-3$ mm y división de escala de valor $E = 0,1$ μm .

Se adopta el método de los BPL y CE, apartado 5.2.3.1, con BPL de calidad 00 y CE con división de escala $E = 0,01$ μm , cuya incertidumbre se estima en $u_{\text{CE}} = 0,1$ μm .

Con objeto de no emplear el mismo BPL en más de una composición por adherencia, se seleccionan los que se indican en la tabla 2 que materializan los patrones de calibración cuando la escala se recorre en sentido creciente o decreciente.

En el recorrido en sentido creciente, se ajustan a cero el BCC y el CE con el BPL de 4 mm de nominal. Posteriormente se retira y se introducen sucesivamente los restantes BPL, avanzando el contacto móvil hasta recuperar el cero en el CE. Esta operación, realizada sucesivamente con cada uno de los BPL, simples o adheridos, inferiores al de 4 mm, permite registrar la primera serie de lecturas crecientes en la que los patrones de calibración son las diferencias entre el BPL de 4 mm y los restantes BPL, simples o adheridos.

Con el último BPL (1 mm de nominal) situado sobre el tope móvil, se actúa sobre el mando de desplazamientos del BCC hasta situar la escala en el valor $A=3,000$ 0 mm y se ajusta el CE a cero. A partir de esta posición, se retira el tope móvil sin llegar al nominal siguiente y se coloca el BPL de 1,3 mm, retrocediendo el tope móvil hasta que se consigue lectura cero en el CE. Se reiteran operaciones similares con los restantes BPL, simples o adheridos, hasta alcanzar el BPL de 4 mm, registrándose la primera serie de medidas en sentido decreciente en la que los patrones de calibración son el resultado de restar a la suma de 3,000 0 mm más el valor del BPL de 1 mm, cada uno de los demás BPL, sencillos o compuestos.

Se repiten otras nueve series similares a las anteriores con lo que se completan diez medidas del patrón ($J=10$) en cada punto de calibración ($I=10$), en cada uno de los dos sentidos de desplazamiento del tope móvil del BCC.

Durante todo el proceso, la temperatura del local se ha mantenido entre 19,6 °C y 20,3 °C.

En resumen, el modelo resultante para las correcciones locales que se utiliza es:

$$C_i = X_{pi} - \bar{X}_i + C_{CE} + C_E$$

En la tabla 3 se recogen los valores de los patrones y de las mediciones efectuadas en el sentido creciente. Las tres últimas filas de la tabla 3 contienen, respectivamente y 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 3, responde a la expresión (1) de 6.1, es decir:

$$U_i = 2 \sqrt{\left(u_{pi}^2 + \frac{s_i^2}{J} + u_{CE}^2 + \frac{E^2}{6} \right)}$$

Asimismo, la tabla 4 recoge la misma información que la tabla 3 para el desplazamiento en sentido decreciente.

Tabla 2: BPL utilizados y patrones resultantes.

BPL	5	1,9	3	1,8	2,5	1,2	2	1,6	1,3	1
	01	-0,03	-0,05	-0,01	+0,06	0,00	-0,01	+0,03	+0,03	-0,01
	15	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
BPL		1,35		1,01		1,05				
		+0,02		+0,02		+0,04				
		0,015		0,015		0,015				
RESULTANTE	5	3,25	3	2,81	2,5	2,25	2	1,6	1,3	1
	01	-0,01	-0,05	+0,01	+0,06	0,04	-0,01	+0,03	+0,03	-0,01
	15	0,03	0,015	0,03	0,015	0,03	0,015	0,015	0,015	0,015
PATRONES CRECIENTES	5	0,75	1	1,19	1,5	1,75	2	2,4	2,7	3
	06	-0,04	0,00	-0,06	-0,11	-0,09	-0,04	-0,08	-0,08	-0,04
	3	0,045	0,03	0,045	0,03	0,045	0,03	0,03	0,03	0,03
PATRONES DECRECIENTES	5	0,75	1	1,19	1,5	1,75	2	2,4	2,7	---
	02	0,00	+0,04	-0,02	-0,07	-0,05	0,00	-0,04	-0,04	---
	3	0,045	0,03	0,045	0,03	0,045	0,03	0,03	0,03	---

Tabla 3: Toma y tratamiento de datos (sentido creciente).

Campo de medida C = 0 a 3 mm	División de escala E=0,1µm								u _{CE} = 0,1µm			
	0,5	0,75	1	1,19	1,5	1,75	2	2,4	2,7	3		
Valor nominal del patrón (mm)	0,5001	0,7500	1,0000	1,1901	1,4999	1,7499	1,9999	2,4000	2,7001	3,0001		
Desviac. Del patrón al nominal: d _{pi} (µm)	0,5001	0,7499	1,0002	1,1903	1,5000	1,7502	1,9997	2,3998	2,7001	3,0000		
Incertidumb. típica del patrón: u _{pi} (µm)	0,5002	0,7500	1,0002	1,1900	1,5000	1,7501	1,9999	2,4000	2,7003	2,9999		
	0,5000	0,7500	1,0000	1,1901	1,4998	1,7499	1,9999	2,3997	2,7001	3,0001		
	0,5001	0,7500	1,0001	1,1902	1,4999	1,7500	1,9998	2,4001	2,6999	2,9998		
	0,4999	0,7498	1,0000	1,1902	1,5000	1,7501	1,9997	2,4000	2,7001	3,0001		
	0,5001	0,7500	0,9999	1,1901	1,4998	1,7502	1,9999	2,3999	2,6999	3,0000		
	0,5000	0,7499	1,0001	1,1903	1,4999	1,7502	1,9997	2,4000	2,7001	2,9999		
	0,5001	0,7498	1,0000	1,1900	1,5000	1,7501	1,9999	2,3998	2,7002	2,9999		
	0,5002	0,7499	1,0000	1,1902	1,5000	1,7501	1,9997	2,4000	2,7001	3,0000		
Indicaciones al medir los patrones: x _{ij} (mm)	0,50008	0,74993	1,00005	1,19015	1,49993	1,75008	1,99981	2,39993	2,70009	2,99998		
Valor medio: \bar{x}_i (mm)	0,092	0,082	0,097	0,108	0,082	0,114	0,099	0,125	0,120	0,103		
Desv. típica: s _i (µm)	-0,14	+0,03	-0,05	-0,21	-0,04	-0,17	+0,15	-0,01	-0,17	-0,02		
Corrección local: c _i (µm)	0,112	0,116	0,113	0,118	0,111	0,119	0,113	0,115	0,115	0,113		
Inc. típica de la corr. local: u(c _i) (µm)	0,224	0,232	0,226	0,236	0,222	0,238	0,226	0,230	0,230	0,226		
Inc. expand. de la corr. local (k = 2): U _i (µm)												

Tabla 4: Toma y tratamiento de datos (sentido decreciente).

Campo de medida $C = 0$ a 3 mm	División de escala $E=0,1\mu\text{m}$										$u_{CE} = 0,1\mu\text{m}$	
	0	0,5	0,75	1	1,19	1,5	1,75	2	2,4	2,7		
Valor nominal (mm)	0	0,5	0,75	1	1,19	1,5	1,75	2	2,4	2,7		
Desviac. Del patrón al nominal: d_{pi} (μm)	+0,04	-0,02	0,00	+0,04	-0,02	-0,07	-0,05	0,00	-0,04	-0,04		
Incertidumb. típica del patrón: u_{pi} (μm)	0,03	0,03	0,045	0,03	0,045	0,03	0,045	0,03	0,03	0,03		
Indicaciones al medir los patrones: x_{ij} (μm)	0,0002	0,5000	0,7498	0,9998	1,1903	1,4998	1,7500	2,0001	2,4000	2,6999		
	-0,0001	0,5001	0,7500	0,9998	1,1901	1,4999	1,7501	2,0000	2,4001	2,6999		
	0,0001	0,4999	0,7500	1,0001	1,1901	1,5000	1,7501	1,9999	2,4000	2,7001		
	0,0001	0,4999	0,7500	0,9999	1,1902	1,4999	1,7501	2,0000	2,3999	2,7001		
	0,0002	0,5001	0,7500	1,0001	1,1902	1,5000	1,7500	2,0000	2,4001	2,6999		
	-0,0001	0,4999	0,7498	1,0000	1,1902	1,5000	1,7502	1,9998	2,3999	2,7002		
	0,0001	0,5000	0,7500	0,9999	1,1901	1,4998	1,7501	1,9999	2,3999	2,7001		
	0,0001	0,5000	0,7500	1,0000	1,1903	1,4999	1,7500	2,0000	2,3998	2,7001		
	0,0002	0,4999	0,7499	0,9998	1,1901	1,5000	1,7500	1,9998	2,3999	2,7001		
	0,0002	0,4999	0,7500	0,9999	1,1902	1,5000	1,7502	1,9999	2,3998	2,7000		
Valor medio: \bar{x}_i (μm)	0,00010	0,49997	0,74995	0,99993	1,19018	1,49993	1,75008	1,99994	2,39994	2,70004		
Desv. típica: s_i (μm)	0,115	0,082	0,085	0,116	0,079	0,082	0,079	0,097	0,107	0,107		
Corrección local: c_i (μm)	-0,06	0,01	0,05	0,11	-0,20	0,00	-0,13	0,06	0,02	-0,08		
Inc. típica de la corr. local: $u(c_i)$ (μm)	0,114	0,111	0,117	0,114	0,116	0,111	0,116	0,113	0,113	0,113		
Inc. expand. de la corr. local ($k = 2$): U_i (μm)	0,228	0,222	0,234	0,228	0,232	0,222	0,232	0,226	0,226	0,226		

Para cada uno de los puntos de calibración cabe elaborar una tabla similar a la tabla 1. La tabla 5 es la tabla correspondiente al punto de calibración de nominal 1,75 mm, en sentido creciente.

Tabla 5: Contribuciones a la incertidumbre combinada de la corrección local en el punto de calibración de nominal 1,75 mm (sentido creciente)

Magnitud	Estimación	Incert. Típica	Distribución de probabilidad	Coef. de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
X_m	x_m	$u(x_m)$		c_m	$u_m(c)$
X_{pi}	1 749,91	0,045	Normal	1	0,045
\bar{X}_i	1 750,08	0,036	Normal	-1	-0,036
C_{CE}	0	0,100	Normal	1	0,100
C_E	0	0,029	Rectangular	1	0,029
C	-0,17	Incertidumbre combinada (u)			0,119
		Incertidumbre expandida (U)			0,238

(Todos los valores en μm)

La incertidumbre expandida de la corrección local, para el punto de nominal 1,75 mm (sentido creciente), redondeada a las centésimas de micrómetro (décimas de E), es:

$$U_i(k = 2) = 0,24 \mu\text{m}$$

para una probabilidad de cobertura del 95 %, aproximadamente.

Metrología

NIPO: 113-19-006-0