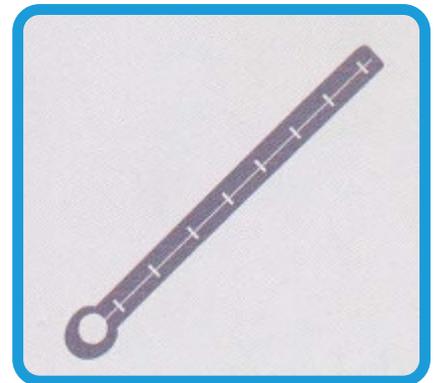
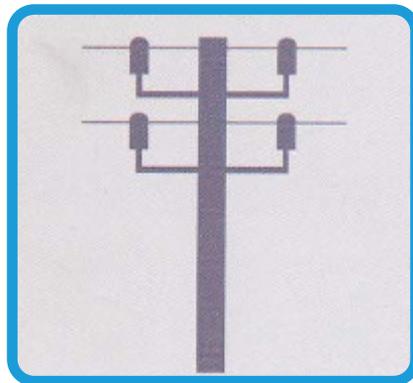
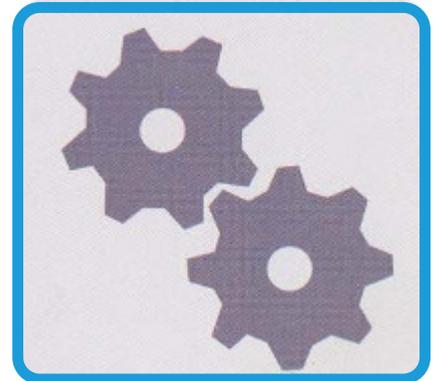
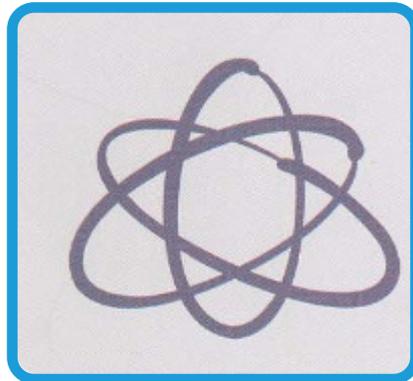
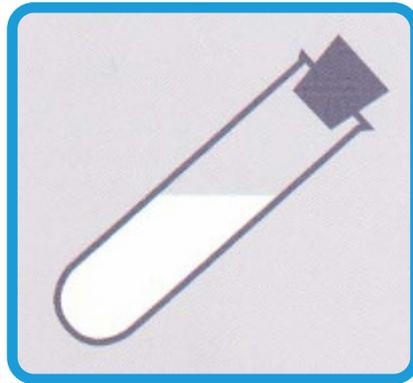
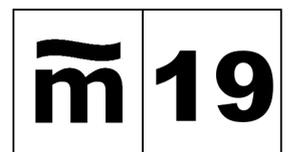


Metrología



PROCEDIMIENTO DI-022 PARA LA
CALIBRACIÓN DE MICRÓMETROS DE
INTERIORES DE TRES CONTACTOS



PROCEDIMIENTO DI-022 CALIBRACIÓN DE MICRÓMETROS DE INTERIORES DE TRES CONTACTOS

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
4. GENERALIDADES.....	4
5. DESCRIPCIÓN.....	5
5.1. Equipos y materiales.....	5
5.2. Operaciones previas.....	6
5.3. Proceso de calibración.....	6
5.4. Toma y tratamiento de datos.....	7
6. RESULTADOS.....	8
6.1. Cálculo de incertidumbres.....	8
6.2. Interpretación de resultados.....	11
7. REFERENCIAS.....	12
8. ANEXOS.....	13

1. OBJETO

El presente procedimiento de calibración tiene por objeto exponer alguno de los métodos posibles para la calibración de micrómetros de interiores de tres contactos, codificados como D.02.12, según la Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional [7].

2. ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a los micrómetros de interiores de tres contactos. El campo de medida de estos micrómetros es habitualmente de 2 mm o 3 mm y en algunos casos puede llegar a los 25 mm. Sus divisiones de escala suelen ser: 0,01 mm, 0,005 mm, 0,002 mm y 0,001 mm.

3. DEFINICIONES

En el presente procedimiento se utilizará la terminología de la referencia [2], junto a las siguientes definiciones referidas a la figura 1.

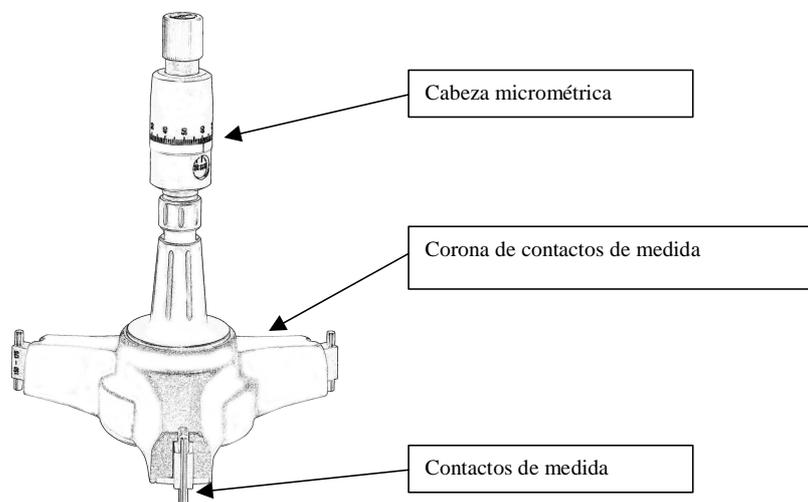


Figura 1: micrómetro de interiores, de tres contactos

Alargaderas:

Barras que roscadas entre la cabeza micrométrica y la corona de contactos de medida, permite variar la profundidad a la que se puede medir con el micrómetro.

Cabeza micrométrica:

Es el sistema que proporciona la amplificación mecánica al micrómetro y lleva también el sistema de lectura (analógico o digital).

Contactos de medida:

Piezas generalmente de forma cilíndrica, que apoyan sobre el elemento a medir.

Corona de contactos de medida:

Es la pieza en la que van alojados los contactos de medida y el cono que hace desplazarse a los contactos citados.

4. GENERALIDADES

Los micrómetros de interiores considerados son los destinados a medir diámetros interiores de agujeros, de tipo autocentrante y que se encuentran en el mercado con lectura analógica o digital.

Estos micrómetros se suelen organizar por juegos en los que se incluyen varios instrumentos o varias coronas de contactos de medida que pueden acoplarse a una misma cabeza de lectura, para cubrir varios campos de medida. Asimismo, suelen incorporar alargaderas para la medida del diámetro en taladros profundos; habitualmente con cada juego se dispone de uno o varios patrones cilíndricos de diámetro (D-01.06), que permiten comprobar su buen estado de funcionamiento y detectar la necesidad de una recalibración.

Para calibrar los micrómetros de interiores de tres contactos, se pueden utilizar patrones cilíndricos de diámetro interior (D.01.06 según [7]) o patrones de diámetro interior de tres planos (D-01.17 según [7]).

En lo que sigue, en el presente documento se utilizarán las abreviaturas siguientes:

- M3C** Micrómetro de interiores de tres contactos.
- PCD** Patrón cilíndrico de diámetro interior.
- PD** Patrón de diámetro interior de tres planos.

También se utilizarán los símbolos que a continuación se relacionan:

- C_{cj} Corrección local de calibración del M3C, en el punto j -ésimo de calibración.
- C_E Corrección por división de escala del M3C.
- K Factor de cobertura.
- N Número de medidas de calibración realizadas.
- Q Número de puntos de calibración seleccionados.
- s_{c_j} Desviación típica experimental de las lecturas del M3C, en el punto j de calibración.
- $s_{\bar{c}_j}$ Desviación típica de la media de lecturas del M3C, en el punto j de calibración.
- u_{cj} Incertidumbre típica de la media de las medidas del M3C en el punto j de calibración.
- $u_{C_{cj}}$ Incertidumbre típica de la corrección local del M3C en el punto j de calibración.
- $U_{C_{cj}}$ Incertidumbre expandida de la corrección local del M3C en el punto j de calibración.
- u_E Incertidumbre típica de la corrección por división de escala del M3C.
- u_{oj} Incertidumbre típica de calibración del diámetro del PCD o del PD utilizado en el punto j de calibración, se obtiene de su certificado de calibración.
- U_{oj} Incertidumbre expandida de calibración del diámetro del PCD o del PD utilizado en el punto j de calibración, se obtiene de su certificado de calibración.
- X_{cij} Lectura i -ésima del M3C, en el punto j de calibración.
- X_{cj} Lectura del M3C en el punto j de calibración, cuando en ese punto se realiza una única lectura.

\bar{X}_{cj} : Media aritmética de las lecturas del M3C en el punto j de calibración.

X_{0j} : Diámetro del PCD o del PD utilizado en el punto j de calibración, se obtiene de su certificado de calibración.

ν_{ef} : Grados efectivos de libertad.

5. DESCRIPCIÓN

Los M3C deben estar identificados preferiblemente con un NÚMERO DE SERIE y si es posible, además, con la MARCA y el MODELO (según referencia [9]).

En caso de que no exista alguno de los datos antes citados, se puede proceder a la identificación del M3C de la mejor forma posible (por ejemplo mediante etiqueta fuertemente adherida al mismo, con un código de identificación único) de forma que no haya duda alguna entre el equipo calibrado y su correspondiente certificado de calibración emitido.

Todos los patrones e instrumentos utilizados para esta calibración deberán tener trazabilidad hacia patrones nacionales o internacionales.

Los certificados de calibración de los patrones deberán contener al menos, la siguiente información:

- 1 Laboratorio Emisor.
- 2 Identificación del equipo calibrado.
- 3 Fecha de emisión del certificado.
- 4 Condiciones ambientales.
- 5 Procedimiento de calibración.
- 6 Resultados obtenidos en la calibración.
- 7 Incertidumbre.
- 8 Declaración de trazabilidad

Si el micrómetro a calibrar dispone de varias coronas de contactos de medida, la calibración se realiza, sucesivamente, para cada una de las coronas disponibles.

5.1. Equipos y materiales

Para la calibración se utilizarán PCD o PD, siendo deseable que estos patrones estén certificados con las incertidumbres expandidas para $k = 2$ que se indican en la tabla 1.

Un termómetro o un registrador de temperatura con división de escala $E \leq 1$ °C.

Como elementos auxiliares se utilizarán trapos y algún producto desengrasante. Se suelen utilizar trapos de algodón y como desengrasante una mezcla de alcohol y éter al 50 %.

Tabla 1: Incertidumbres deseables de los patrones utilizados para la calibración

División de escala E (mm)	U para $k = 2$ en μm
$E = 0,001$	$< 0,5$
$E = 0,002$	$< 0,5$
$E = 0,005$	≤ 1
$E = 0,01$	≤ 2

5.2. Operaciones previas

Si el micrómetro es digital y exige una puesta a punto inicial, esta es la primera operación que debe realizarse, utilizando un patrón adecuado y siguiendo el manual de instrucciones del instrumento.

Realizar una inspección visual del M3C a calibrar, para comprobar que no presenta golpes, deformaciones, oxidaciones, rayas, o cualquier otro defecto que imposibilite su uso. Asimismo, comprobar que la cabeza micrométrica tiene los trazos grabados de forma que permitan una lectura correcta y que se mueve con suavidad en todo su recorrido.

En el caso de M3C digitales, comprobar el correcto estado de la pila.

Limpiar los PCD o PD con un paño y algún producto desengrasante, asegurándose de que no quedan restos del paño sobre los elementos antes indicados.

Dejar que se estabilice térmicamente el M3C y los patrones a utilizar, al menos durante 30 min.

Esta calibración es conveniente realizarla en salas de Metrología en las que se mantenga la temperatura en $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

La única magnitud de influencia a considerar en esta calibración es la temperatura. No es necesario realizar correcciones por temperatura, siempre que las condiciones ambientales de la sala se mantengan dentro del intervalo de temperaturas indicado en el párrafo anterior.

5.3. Proceso de Calibración

Realizar diez medidas sobre un patrón cuyo nominal se encuentre, preferentemente, en las proximidades del punto medio del campo de medida del M3C.

Calcular la corrección local de calibración (C_{cj}) en ese punto (de acuerdo con lo indicado en 5.1.4).

En M3C con división de escala $E \leq 0,002\text{ mm}$, si $C_{cj} \geq 2E$, realizar el ajuste de la escala del M3C si ello es posible; si $C_{cj} < 2E$ no realizar ajuste.

En M3C con división de escala $0,002 < E \leq 0,01\text{ mm}$, si $C_{cj} \geq E$, realizar el ajuste de la escala del M3C si ello es posible; si $C_{cj} < E$ no realizar ajuste.

Según la repetibilidad observada en las diez medidas realizadas se prevén dos tipos de calibración:

Calibración tipo A, cuando ocho o más de las indicaciones obtenidas son coincidentes.

Calibración tipo B, cuando el número de indicaciones coincidentes es inferior a ocho.

En este caso, seleccionar otros q puntos de calibración de forma que el campo de medida del M3C resulte dividido por los $q+1$ puntos de calibración en q intervalos, aproximadamente equidistantes; es deseable que $q \geq 2$.

5.3.1. Calibración tipo A

En esta calibración q debe ser como mínimo la parte entera del resultado de dividir por seis el campo de medida del M3C, expresado en mm, no adoptándose en ningún caso, un valor de q inferior a 2.

Situar el M3C en el interior del PCD o del PD, girar la cabeza micrométrica hasta que los contactos de medida del M3C estén en contacto con el patrón y anotar la lectura del M3C.

En cada uno de los q puntos de calibración seleccionados se realiza una única medida.

Si después de las diez medidas previas realizadas en el punto intermedio del campo de medida del M3C, se realizó un ajuste, reiterar diez medidas en el citado punto; si no se realizó el ajuste, esto no es necesario.

5.3.2. Calibración tipo B

En este tipo de calibración se seleccionan q puntos de calibración, siendo $q \geq 2$.

Situar el M3C en el interior del PCD o del PD, girar la cabeza micrométrica hasta que los contactos de medida del M3C estén en contacto con el patrón y anotar la lectura del M3C.

Reiterar diez medidas en cada uno de los q puntos seleccionados.

Si después de las diez medidas previas realizadas en el punto intermedio del campo de medida del M3C, se realizó el ajuste, reiterar diez medidas en el citado punto, si no se realizó el ajuste, esto no es necesario.

5.4. Toma y tratamiento de datos

Al iniciar la calibración se debe tomar la lectura de la temperatura a la que se encuentra el laboratorio. Se toman también los datos X_{cij} o X_{cj} .

Se aplicará algún criterio de aceptación o rechazo de las medidas realizadas, bien de tipo estadístico (Ej. Q de Dixon, Test de Huber, Chauvenet, etc., los cuales se encuentran en la bibliografía de estadística), bien basado en la experiencia del jefe del laboratorio.

5.4.1. Calibración tipo A

Calcular la media aritmética de las lecturas de calibración, en el punto en el que se han realizado diez medidas, según la ecuación siguiente:

$$\bar{X}_{cj} = \frac{\sum_{i=1}^N X_{cij}}{N}$$

Calcular la desviación típica experimental de las medidas de calibración, en el punto en el que se han realizado diez medidas, según la ecuación siguiente:

$$s_{cj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{cij} - \bar{X}_{cj})^2}{N-1}}$$

Calcular la desviación típica de la media de las medidas de calibración, en el punto en el que se han realizado diez medidas, según la ecuación siguiente:

$$s_{\bar{c}j} = \frac{s_{cj}}{\sqrt{N}}$$

Calcular la corrección local de calibración, en el punto en el que se han realizado diez medidas, mediante la ecuación siguiente:

$$C_{cj} = X_{oj} - \bar{X}_{cj} + C_E$$

Calcular la corrección local de calibración, en los puntos en los que se ha realizado una medida, mediante la ecuación siguiente:

$$C_{cj} = X_{oj} - X_{cj} + C_E$$

5.4.2. Calibración tipo B

Calcular la media aritmética de las lecturas de calibración, según la ecuación siguiente:

$$\bar{X}_{cj} = \frac{\sum_{i=1}^N X_{cij}}{N}$$

Calcular la desviación típica experimental de las medidas de calibración realizadas, según la ecuación siguiente:

$$s_{cj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{cij} - \bar{X}_{cj})^2}{N-1}}$$

Calcular la desviación típica de la media de las medidas de calibración realizadas, según la ecuación siguiente:

$$s_{\bar{c}j} = \frac{s_{cj}}{\sqrt{N}}$$

Calcular la corrección local de calibración mediante la ecuación siguiente:

$$C_{cj} = X_{oj} - \bar{X}_{cj} + C_E$$

6. RESULTADOS

Los cálculos de incertidumbre de este apartado, se realizan de acuerdo con los criterios de las referencias [3], [4], [5] y [6].

6.1. Cálculo de incertidumbres

6.1.1. Calibración tipo A

La corrección local en el punto en que se han realizado diez medidas, viene dada por la siguiente ecuación:

$$C_{cj} = X_{oj} - \bar{X}_{cj} + C_E$$

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres y considerando que todas las magnitudes de entrada son independientes, resulta:

$$u_{C_{cj}} = \sqrt{u_{oj}^2 + u_{cj}^2 + u_E^2}$$

La incertidumbre típica (u_{oj}) del diámetro del PCD o del PD utilizado, se obtienen del certificado de calibración del mismo.

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

La incertidumbre debida a la repetibilidad de las medidas de calibración (u_{cj}), es igual a la desviación típica de la media calculada en el apartado 5.1.4.1.

$$u_{cj} = \frac{s_{cj}}{\sqrt{N}}$$

La corrección por división de escala del M3C, se introduce como una corrección de media nula y distribución rectangular de semiapertura $E/2$ (siendo E la división de escala del M3C); su incertidumbre típica viene dada por la ecuación siguiente:

$$u_E = \frac{E}{\sqrt{12}}$$

Los estimadores de las variables y sus incertidumbres típicas se incluyen en la tabla 2 cuyo formato está recomendado (en la referencia [6]).

Tabla 2: Contribuciones a la incertidumbre combinada en la calibración tipo A, en el punto de diez medidas.

Magnitud X_i	Estimación x_i	Incertidumbre típica $u(x_i)$	Distribución de probabilidad	Coficiente de sensibilidad c_i	Contribución a la incertidumbre $u_i(y)$
X_{oj}	X_{oj}	$\frac{U_{oj}}{k}$	normal	1	$\frac{U_{oj}}{k}$
\bar{X}_{cj}	\bar{X}_{cj}	$\frac{s_{cj}}{\sqrt{N}}$	normal	-1	$-\frac{s_{cj}}{\sqrt{N}}$
C_E	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	rectangular	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$
C_{cj}	$C_{cj} = \sum x_i$	Incertidumbre típica combinada ($u_{C_{cj}}$)			$u_{C_{cj}} = \sqrt{\sum u_i^2(y)}$
		Incertidumbre expandida ($U_{C_{cj}}$)			$U_{C_{cj}} = k \cdot u_{C_{cj}}$

La incertidumbre expandida queda por tanto:

$$U_{C_{cj}} = k \cdot \sqrt{\frac{U_{oj}^2}{k^2} + \frac{s_{cj}^2}{N} + \frac{E^2}{12}}$$

La corrección local en los puntos en que se ha realizado una sola medida viene dada por la siguiente ecuación:

$$C_{cj} = X_{oj} - X_{cj} + C_E$$

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres y considerando que todas las magnitudes de entrada son independientes, resulta:

$$u_{C_{cj}} = \sqrt{u_{oj}^2 + u_{cj}^2 + u_E^2}$$

Las incertidumbres típicas son las mismas indicadas para el punto en el que se han realizado diez medidas, excepto la repetibilidad que se toma como la del punto de diez medidas, en este caso viene dada por la siguiente ecuación:

$$u_{cj} = \frac{s_{cj}}{\sqrt{N}}$$

Como en estos puntos $N = 1$, pues se ha hecho una sola medida, la repetibilidad queda:

$$u_{cj} = s_{cj}$$

Los estimadores de las variables y sus incertidumbres típicas se incluyen en la tabla 3 cuyo formato está recomendado en la referencia según [6].

Tabla 3: Contribuciones a la incertidumbre combinada en la calibración tipo A, en los puntos de una medida.

Magnitud X_i	Estimación x_i	Incertidumbre típica $u(x_i)$	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad c_i	Contribución a la incertidumbre $u_i(y)$
X_{oj}	X_{oj}	$\frac{U_{oj}}{k}$	normal	1	$\frac{U_{oj}}{k}$
\bar{X}_{cj}	\bar{X}_{cj}	s_{cj}	normal	-1	$-s_{cj}$
C_E	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	rectangular	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$
C_{cj}	$C_{cj} = \sum x_i$	Incertidumbre típica combinada ($u_{C_{cj}}$)			$u_{C_{cj}} = \sqrt{\sum u_i^2(y)}$
		Incertidumbre expandida ($U_{C_{cj}}$)			$U_{C_{cj}} = k \cdot u_{C_{cj}}$

La incertidumbre expandida queda por tanto:

$$U_{C_{cj}} = k \cdot \sqrt{\frac{U_{oj}^2}{k^2} + s_{cj}^2 + \frac{E^2}{12}}$$

Dado que en la mayor parte de los casos, las contribuciones con una distribución de probabilidad normal serán las que tienen más peso, el factor de cobertura k será igual a 2; de no ser así, se calculan los grados efectivos de libertad mediante la ecuación de Welch-Satterthwaite (según [5]), la cual en este caso sería:

$$v_{ef} = \frac{u_{C_{cj}}^4}{\frac{\left(\frac{s_{cj}}{\sqrt{N}} \right)^4}{N-1}}$$

dado que para el resto de contribuciones el número de grados efectivos de libertad sería ∞ .

Una vez conocidos los grados efectivos de libertad, entrando en la tabla citada (de [5]), se obtiene el valor de k .

6.1.2. Calibración tipo B

En esta calibración la corrección local de calibración viene dada por la misma expresión que en el caso de la calibración tipo A, para el punto en el que se han realizado diez medidas.

Los cálculos son iguales a los realizados para el punto en el que se han realizado diez medidas (apartado 6.1.1) y la tabla resumen es la tabla 2.

6.2. Interpretación de resultados

En la mayor parte de los casos, las contribuciones de incertidumbre que presentan una distribución normal serán las que tienen más peso y las otras son estimaciones tipo B con grados de libertad ∞ , por, tanto para una probabilidad del 95 %, el factor de cobertura k será igual a 2.

En determinados casos en los que alguna contribución de incertidumbre sea dominante sobre las demás y su distribución no sea normal, sería necesario calcular la distribución que corresponde al resultado de la calibración y su correspondiente factor de cobertura para una probabilidad del 95 %.

Habitualmente se realizan los cálculos con una cifra decimal más de la división de escala del instrumento utilizado, redondeando al final, según [3], el valor de la corrección local de calibración y su incertidumbre a un múltiplo entero de la división de escala del instrumento.

En los certificados de calibración de laboratorios de calibración acreditados, como mínimo, debe figurar de acuerdo con lo establecido en [9], para los M3C, el valor de la corrección local de calibración en cada punto de calibración y la incertidumbre expandida de la misma con su correspondiente factor de cobertura k .

6.2.1- Períodos de recalibración

A título orientativo, se considera adecuado recalibrar los M3C cada 12 meses.

En cualquier caso este período es una mera recomendación, siendo el usuario de los M3C quien debe fijar el valor que considere oportuno.

El período de recalibración antes indicado, se debería reducir en el caso de que se presente alguna de las circunstancias siguientes:

- Elevada frecuencia de utilización.
- Condiciones de empleo desfavorables (personal poco cualificado, ambientes sucios, uso al aire libre, etc.).
- Cuando se necesiten requisitos especiales de seguridad (Defensa, Sanidad, Justicia, etc.).

Siempre debe procederse a una recalibración de los M3C, cuando los resultados que se estén obteniendo hagan dudar al usuario del correcto estado de los mismos.

7. REFERENCIAS

- [1] Procedimiento para la realización de procedimientos de calibración. CEM. Edición 4. 2003.
- [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] JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. 1st edition, September 2008, © JCGM 2008.
- [4] 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.
- [5] Expresión de la incertidumbre de medida en las calibraciones. CEA-ENAC-LC/02, Rev. 1, Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), Enero 1998
- [6] Guía EA-4/02 M: 2013, Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Sept. 2013, rev. 01.
- [7] Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional. 1ª ed. Centro Español de Metrología, 2005, NIPO: 165-02-003-4.
- [8] Proceso de calibración D-018 para Micrómetros de interiores de tres contactos. Dirección General de Política Tecnológica del Ministerio de Industria y Energía. Sistema de Calibración Industrial (SCI), Edición inicial Diciembre de 1988.
- [9] Criterios específicos de acreditación. Elaboración de certificados de calibración. CEA-ENAC-LC/01, Rev. 3, Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), Febrero 1998.

8. ANEXOS: EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DESCRITO

ANEXO I - Calibración tipo A de un micrómetro de interiores de tres contactos.

Se calibra un M3C de las siguientes características:

- Campo de medida $C = 125 \text{ mm}$ a 150 mm .
- División de escala $E = 0,01 \text{ mm}$.

La calibración se realiza con patrones cilíndricos de diámetro interior, de las siguientes características:

Tabla 4: Datos del certificado de calibración de los PCD.

Nominal (mm)	Última calibración (mm)	
	Diámetro X_{oj} (mm)	U_{oj} (mm) para $k = 2$
125,000	125,001	0,002
130,000	129,999	0,002
135,000	135,008	0,002
140,000	139,998	0,002
150,000	149,996	0,002

De acuerdo con lo indicado en 5.3 se reiteran diez medidas sobre el patrón de nominal de 135,000 mm, obteniéndose los resultados que se indican a continuación:

135,02 135,02 135,02 135,02 135,02
135,01 135,02 135,01 135,02 135,02

La media aritmética de estas medidas es:

$$\bar{X}_{cj} = 135,018 \text{ mm}$$

La corrección local de calibración en este punto es:

$$C_{cj} = -0,010 \text{ mm}$$

De acuerdo con lo indicado en 5.3, dado que $C_{cj} < E$, no se realiza ajuste de la escala del micrómetro.

Como de las diez medidas realizadas en el punto de nominal 135,000 mm, ocho son coincidentes, se realiza la calibración tipo A.

Según lo indicado en 5.3:

$$q = \text{parte entera de } \left(\frac{25}{6} \right) = 4$$

En consecuencia se eligen, además del punto de reiteración, otros cuatro puntos más de calibración.

Se realiza la calibración de la forma descrita en el apartado 5.3.1, obteniéndose las lecturas y resultados que se indican en la tabla 5.

La temperatura durante la calibración se mantiene en $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

Tabla 5: Toma de datos de la calibración tipo A del M3C

Punto de calibración (j)	1	2	3	4	5
Nominal del patrón (mm)	125,000	130,000	135,000	140,000	150,000
Lecturas (mm)	125,02	130,00	135,02 135,02 135,02 135,02 135,01 135,02 135,01 135,02 135,02	140,00	149,99

Se realizan los cálculos indicados en el punto 5.4.1 y 6.1.1 obteniéndose los resultados que se indican en la tabla 6.

Tabla 6: resultados de la calibración tipo A del M3C

Punto de calibración (j)	1	2	3	4	5
Nominal del patrón (mm)	125,000	130,000	135,000	140,000	150,000
Diámetro certificado del patrón (mm)	125,001	129,999	135,008	139,998	149,996
Incertidumbre expandida de calibración del patrón (μm)	2	2	2	2	2
Lecturas (mm)	125,02	130,00	135,02 135,02 135,02 135,02 135,01 135,02 135,01 135,02 135,02	140,00	149,99
Media (mm)	125,020	130,000	135,018	140,000	149,990
C_{cj} (mm)	-0,019	-0,001	-0,010	-0,002	0,006
s_{cj} (mm)	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
$u_{C_{cj}}$ (mm)	0,005	0,005	0,003	0,005	0,005
$U_{C_{cj}}$ (mm) ($k = 2$)	0,010	0,010	0,007	0,010	0,010
C_{cj} (mm) redondeada a E	-0,02	0,00	-0,01	-0,00	0,01
$U_{C_{cj}}$ redondeada a E	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

En la tabla 7 se indican las contribuciones de incertidumbre del punto de nominal 135,000 mm.

Tabla 7: Contribuciones a la incertidumbre combinada en la calibración tipo A, en el punto de diez medidas.

Magnitud X_i	Estimación x_i (mm)	Incertidumbre típica $u(x_i)$ (mm)	Distribución de probabilidad	Coficiente de sensibilidad c_i	Contribución a la incertidumbre $u_i(y)$ (mm)
X_{0j}	135,008	0,002	normal	1	0,002
\overline{X}_{cj}	135,018	0,001	normal	-1	-0,001
C_E	0	0,003	rectangular	1	0,003
C_{cj}	$C_{cj} = -0,01$	Incertidumbre típica combinada ($u_{C_{cj}}$)			$u_{C_{cj}} = 0,003$
Incertidumbre expandida ($U_{C_{cj}}$)					$U_{C_{cj}} = 0,007$

ANEXO 2 - Calibración tipo B de un micrómetro de interiores de tres contactos.

Se calibra un M3C de las siguientes características:

- Campo de medida $C = 10$ mm a 12 mm.
- División de escala $E = 0,001$ mm.

La calibración del M3C se realiza con patrones cilíndricos de diámetro interior, de las siguientes características:

Tabla 8: Datos del certificado de calibración de los PCD.

Nominal (mm)	Última calibración (mm)	
	Diámetro X_{0j} (mm)	U_{0j} (mm) para $k = 2$
10,000	10,004	0,000 5
11,000	11,002	0,000 5
12,000	11,998	0,000 5

De acuerdo con lo indicado en 5.3 se reiteran diez medidas sobre el patrón de valor nominal 11,000 mm, obteniéndose los resultados que se indican a continuación:

11,004 11,002 11,002 11,005 11,003
11,002 11,001 11,003 11,002 11,005

La media aritmética de estas medidas es:

$$\overline{X}_{cj} = 11,002 9 \text{ mm}$$

La corrección local de calibración en este punto es:

$$C_{cj} = -0,000 9 \text{ mm}$$

De acuerdo con lo indicado en 5.3, dado que $C_{cj} < 2E$, no se realiza ajuste de la escala del micrómetro.

Como de las diez medidas realizadas en el punto de nominal 11,000 mm, no hay ocho coincidentes, se realiza la calibración tipo B.

Según lo indicado en 5.3 se seleccionan otros dos puntos de calibración, 10 mm y 12 mm.

Se realiza la calibración de la forma descrita en el apartado 5.3.2, obteniéndose las lecturas que se indican en la tabla 9.

La temperatura durante la calibración se mantiene en $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

Tabla 9: Toma de datos de la calibración tipo B del M3C

Punto de calibración (j)	1	2	3
Nominal del patrón (mm)	10,000	11,000	12,000
Lecturas (mm)	10,002	11,004	11,998
	10,000	11,002	11,997
	10,001	11,002	11,996
	10,002	11,005	11,996
	10,003	11,003	11,995
	10,000	11,002	11,998
	10,004	11,001	11,995
	10,001	11,003	11,995
	10,003	11,002	11,997
	10,002	11,005	11,996

Se realizan los cálculos indicados en los puntos 5.4.2 y 6.1.2 obteniéndose los resultados que se indican en la tabla 10.

Tabla 10: resultados de la calibración tipo B del M3C

Punto de calibración (j)	1	2	3
Nominal del patrón (mm)	10,000	11,000	12,000
Diámetro certificado del patrón (mm)	10,004	11,002	11,998
Incertidumbre expandida de calibración del patrón (μm)	0,25	0,25	0,25
Lecturas (mm)	10,002	11,004	11,998
	10,000	11,002	11,997
	10,001	11,002	11,996
	10,002	11,005	11,996
	10,003	11,003	11,995
	10,000	11,002	11,998
	10,004	11,001	11,995
	10,001	11,003	11,995
	10,003	11,002	11,997
	10,002	11,005	11,996
Media (mm)	10,001 8	11,002 9	11,996 3
C_{cj} (mm)	0,002 2	-0,000 9	0,001 7
S_{cj} (mm)	0,001 3	0,001 4	0,001 2
$u_{C_{cj}}$ (mm)	0,000 6	0,000 6	0,000 5

$U_{C_{cj}}$ (mm) $k = 2$	0,001 1	0,001 2	0,001 1
C_{cj} (mm) redondeada a E	0,002	-0,001	0,002
$U_{C_{cj}}$ redondeada a E	0,002	0,002	0,002

En la tabla 11 se indican las contribuciones de incertidumbre del punto de nominal 11,000 mm.

Tabla 11: Contribuciones a la incertidumbre combinada de la calibración tipo B en el punto de nominal 11,000.

Magnitud X_i	Estimación x_i (mm)	Incertidumbre típica $u(x_i)$ (mm)	Distribución de probabilidad	Coficiente de sensibilidad c_i	Contribución a la incertidumbre $u_i(y)$ (mm)
X_{0j}	11,002	0,000 25	normal	1	0,000 25
\bar{X}_{cj}	11,002 9	0,000 43	normal	-1	-0,000 43
C_E	0	0,000 29	rectangular	1	0,000 29
C_{cj}	$C_{cj} = -0,000 9$	Incertidumbre típica combinada ($u_{C_{cj}}$)			$u_{C_{cj}} = 0,000 57$
		Incertidumbre expandida ($U_{C_{cj}}$)			$U_{C_{cj}} = 0,001 14$

Metrología

NIPO: 113-19-006-0