

## OBJETO.

El objeto del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es proporcionar la pauta utilizada en el software CALIBRO, para la calibración de los micrómetros de exteriores que les permita obtener resultados trazables y con incertidumbre apropiada y que se deriva del proceso de calibración SCI D-002, del Sistema de Calibración del Ministerio de Industria y Energía de España (Miner).

Es imperativa la prohibición de emplear patrones de calibración que no sean bloques patrón longitudinales.

## CAMPO DE APLICACIÓN.

Los micrómetros de exteriores considerados poseen dos planos y tienen un campo de medida (C) de 25mm, con alcances crecientes desde 25mm a 500 mm (UNE 82.306-80), Y DIVISION DE ESCALA  $E \geq 0,001$  mm.

## 4.-PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Antes de iniciar la calibración, debe realizarse una inspección visual para comprobar el buen estado de las caras de medida, y el correcto grabado de los trazos de la escala y un movimiento suave del tambor en instrumentos no digitales.

Una vez bien limpias las caras de medida, **se comprueba con un patrón de planitud de vidrio** que las desviaciones de planitud de las mismas no exceden de  $1\mu\text{m}$  (cuatro franjas de interferencia). Seguidamente, y antes de iniciar la calibración, se efectúa el ajuste de la escala del micrómetro sobre uno de los puntos extremos de su campo de medida.

La calibración ha de realizarse en una sala de metrología con temperatura controlada dentro del intervalo  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ , en la que el micrómetro a calibrar, una vez preparado para efectuar las medidas de calibración, debe permanecer en el soporte o mesa de trabajo adecuados durante un tiempo mínimo de una hora, para estabilizar su temperatura antes de comenzar la calibración

- 4.1 La calibración se efectúa midiendo bloques patrón longitudinales con el micrómetro y anotando sus indicaciones. El presente proceso de calibración no permite ninguna otra alternativa para calibrar los micrómetros de exteriores considerados.

Las barras patrón de extremo son patrones de calidad inferior a la de los bloques patrón longitudinales, y suelen incluirse en algunos juegos de micrómetros para que el propio operario del micrómetro verifique frecuentemente el ajuste de la escala del mismo, entre calibraciones, al objeto de detectar la posible necesidad de una nueva calibración con anterioridad a la prevista de acuerdo con el periodo oficial. Sin embargo, las barras patrón extremos no pueden utilizarse como patrones para la calibración de micrómetros de exteriores en el presente proceso de calibración.

- 4.2 Para la calibración de micrómetros de exteriores con división de escala  $E \leq 0,002$  mm deben emplearse bloques patrón longitudinales de calidad 1, pudiéndose utilizar bloques de calidad 1 ó 2 para micrómetros de exteriores con mayor división de escala, es decir, cuando  $E > 0,002$  mm.

La calidades de los bloques patrón longitudinales están definidas por normas ISO 3650 "Cales étalons", 1978 y UNE 82-311-85 "Bloques patrón "

- 4.3 Como longitud de cada bloque patrón se adopta su valor nominal, sin introducir la desviación correspondiente, asignándole una incertidumbre ( $k = 3$ ) igual a su intervalo de tolerancia. Es decir:

$$I_{oi}(k = 3) = D_{\max} \quad (1)$$

El intervalo de tolerancias ( $D_{\max}$ ) viene definido en las normas ISO [3] y UNE [4] y en el proceso de calibración SCI D-001 [5].

- 4.4 Debe reducirse al mínimo imprescindible la formación de patrones mediante adherencia de bloques patrón longitudinales, no permitiéndose en ningún caso adherir mas de tres bloques.

La longitud de un patrón formado por adherencia es igual a la suma de las longitudes de los bloques adheridos, obteniéndose su incertidumbre mediante suma cuadrática de las correspondientes incertidumbres. Por ejemplo, si se adhieren tres bloques de valores  $L_{o1} \pm l_{o1}$ ,  $L_{o2} \pm l_{o2}$  y  $L_{o3} \pm l_{o3}$ , y todas las incertidumbres poseen el mismo factor de incertidumbre ( $k$ ), el patrón resultante es  $L_o \pm l_o$  con el mismo factor de incertidumbre, siendo:

$$L_o = L_{o1} + L_{o2} + L_{o3} \quad (2)$$

$$I_o = \sqrt{I_{o1}^2 + I_{o2}^2 + I_{o3}^2} \quad (3)$$

La longitud e incertidumbre de cada bloque patrón longitudinal que interviene en la composición se determina según **4.3**.

- 4.5 En cualquier caso, los bloques patrón longitudinales que vayan a utilizarse, una vez limpios, deberán dejarse estabilizar térmicamente sobre una superficie metálica de la sala de metrología, durante un tiempo mínimo de quince minutos. La posterior manipulación de los bloques patrón, durante la calibración, se realizará de forma que no se calienten apreciablemente, siendo deseable emplear pinzas o guantes, volviéndolos a depositar sobre la superficie metálica entre sucesivas utilizations.

- 4.6 La calibración se inicia reiterando  $n_c$  medidas (al menos diez) sobre un patrón con valor próximo al punto medio del campo de medida del micrómetro:

De acuerdo con la repetibilidad de estas medidas, se prevén dos tipos de calibraciones:

Calibración **tipo I**, que podrá efectuarse cuando el ochenta por ciento ó más de las indicaciones sean coincidentes.

Calibración **tipo II**, que deberá realizarse cuando el número de indicaciones coincidentes resulte inferior al ochenta por ciento.

- 4.7 A continuación, se seleccionan otros  $q$  puntos de calibración de forma que el campo de medida resulte dividido por los  $q+1$  puntos de calibración en  $q$  intervalos, aproximadamente iguales. Para ello, si  $x_{oi}$  son los valores nominales de los patrones formados,  $C$  el campo de medida y  $A$  el alcance

del micrómetro, deberá asegurarse que la longitud de dichos intervalos verifique:

$$\left. \begin{array}{l} x_{oi} + 1 - x_{oi} \leq 2 \frac{C}{q} \\ A - x_{oi} + 1 \leq 2 \frac{C}{q} \end{array} \right\} (1 \leq i \leq q) \quad (4)$$

representando  $x_{oi}$  la ausencia de bloque patrón longitudinal (patrón de valor nulo) en los micrómetros con umbral cero, y un patrón con longitud igual al umbral en los restantes casos.

4.7.1 Cuando la calibración es **tipo I**,  $q$  es igual o mayor que diez y solamente se realiza una medida en los  $q$  nuevos puntos de calibración, adoptando como valor de la medida del patrón inicial (apartado 4.6) la indicación de mayor frecuencia.

4.7.2 Cuando la calibración es **tipo II**,  $q$  es igual o mayor que cuatro y se reiteran un mismo número de  $n_c$  medidas ( $n_c \geq 10$ ) en cada uno de los  $q$  nuevos puntos de calibración, debiendo coincidir  $n_c$  con el número de reiteraciones adoptadas en 4.6.

4.8 Las indicaciones del micrómetro se expresan siempre de forma que resulten múltiplos de la división de escala del mismo. En los cálculos intermedios es conveniente retener la cifra del orden inmediatamente inferior al de la división de escala, redondeando finalmente la incertidumbre resultante a un valor múltiplo de dicha división de escala.

4.9 Los valores de los patrones y las indicaciones del micrómetro puede disponerse en tablas similares a las que se presentan en los ejemplos.

## **5.-RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN.**

De acuerdo con la clasificación indicada en el apartado anterior, se distinguen dos tipos de tratamientos de las indicaciones obtenidas con el micrómetro, en función del tipo de calibración que deba aplicarse, con dos variantes en cada caso (con o sin ajuste intermedio). La adopción de la calibración tipo **I** y tipo **II** viene determinada por la aplicación del apartado 4.6. Sin embargo, la realización, o no, del ajuste intermedio es decisión del usuario. Normalmente, el procedimiento con ajuste intermedio proporciona una calibración más precisa pero multiplica el número de medidas. La modalidad con ajuste intermedio es más rápida, aunque puede proporcionar incertidumbres mayores que en el caso anterior.

La elaboración de los resultados de la calibración en cada una de las cuatro variantes indicadas, se recogen en los siguientes apartados 5.1 a 5.4 en los que se han repetido los cálculos comunes para que cada tratamiento resulte autosuficiente y no sea necesario establecer cruzadas entre los mismos.

### 5.1 Calibración tipo I, sin ajuste intermedio

- 5.1.1 Se determinan las correcciones de calibración ( $\Delta x_{ci}$ ) en cada uno de los  $q+1$  puntos de calibración, mediante:

$$\Delta x_{ci} = x_{oi} - x_{ci} \quad (5)$$

donde  $x_{ci}$  es la indicación suministrada por el micrómetro al medir el patrón  $i$ -ésimo de valor  $x_{oi}$  e incertidumbre  $l_{oi}$  ( $k=3$ ).

- 5.1.2 Se evalúa la incertidumbre ( $k=3$ ) en cada punto de calibración mediante:

$$I_i = \sqrt{l_{oi}^2 + \Delta x_{ci}^2} \quad (6)$$

determinándose como incertidumbre propia del micrómetro (incertidumbre para  $n=1$  medida) con factor de incertidumbre  $k=2$ , la correspondiente al máximo de las expresiones anteriores. Es decir:

$$I(k=2) = \frac{2}{3} \max(I_i) \quad (7)$$

que se redondea por exceso al múltiplo inmediato de la división de escala ( $E$ ), de forma que si el segundo miembro de (7) proporciona un valor inferior a  $E$ , se adopta como  $I(k=2)$  del micrómetro el valor de la propia división de escala.

- 5.1.3 Con esta modalidad de calibración, en la utilización habitual del micrómetro no se admite reducción de la incertidumbre por reiteración de medidas.

[www.gesdocal.es](http://www.gesdocal.es)

### 5.2 Calibración tipo I, con ajuste intermedio

- 5.2.1 Se determinan las correcciones de calibración ( $\Delta x_{ci}$ ) en cada uno de los  $q+1$  puntos de calibración mediante:

$$\Delta x_{ci} = x_{oi} - x_{ci} \quad (8)$$

donde  $x_{ci}$  es la indicación suministrada por el micrómetro al medir el patrón  $i$ -ésimo de valor  $x_{oi}$  e incertidumbre  $l_{oi}$  ( $k=3$ ).

- 5.2.2 Se determina la corrección global promediando los valores (8):

$$\Delta x_c = \frac{1}{q+1} \cdot \sum_{i=1}^{q+1} \Delta x_{ci} \quad (9)$$

que se redondea al múltiplo más próximo de la división de escala ( $E$ ).

- 5.2.3 Si el valor  $\Delta x_c$  es igual a cero, se continúa en el **apartado 5.2.5**, no diferenciándose esta modalidad de la descrita en **5.1**.

Si el valor  $\Delta x_c$  es distinto de cero, se ajusta físicamente la escala del micrómetro mediante la llave al efecto, desplazando su origen el valor correspondiente a  $\Delta x_{ci}$  en el sentido adecuado según el signo de dicho valor.

A continuación se vuelven a medir los patrones de calibración y se obtienen, de nuevo, las  $q+1$  indicaciones del micrómetro con las que se prosigue en el apartado siguiente **5.2.4**.

Si  $\Delta x_c$  no es cero pero su valor es pequeño (del orden de la división de escala), el ajuste intermedio no proporciona, en general, una mejora apreciable.

- 5.2.4 Se determinan las correcciones de calibración ( $\Delta x_{ci}$ ) en cada uno de los  $q+1$  puntos de calibración, mediante:

$$\Delta x_{ci} = x_{oi} - x_{ci} \quad (10)$$

donde  $x_{ci}$  es la indicación suministrada por el micrómetro al medir el patrón  $i$ -ésimo de valor  $x_{oi}$  e incertidumbre  $l_{oi}$  ( $k=3$ ).

- 5.2.5 Se evalúa la incertidumbre ( $k=3$ ) en cada punto de calibración mediante:

$$I_i = \sqrt{l_{oi}^2 + \Delta x_{ci}^2} \quad (11)$$

determinándose como incertidumbre propia del micrómetro (incertidumbre para  $n=1$  medida) con factor de incertidumbre  $k=2$ , la correspondiente al máximo de las expresiones anteriores. Es decir:

$$I(k=2) = \frac{2}{3} \cdot \max(I_i) \quad (12)$$

que se redondea por exceso al múltiplo inmediato a la división de escala ( $E$ ), de forma que si el segundo miembro de (12) proporciona un valor inferior a  $E$ , se adopta como  $I(k=2)$  del micrómetro el valor de la propia división de escala.

- 5.2.6 Con esta modalidad de calibración, en la utilización habitual del micrómetro no se admite reducción de la incertidumbre por reiteración de medidas.

### 5.3 Calibración tipo II, sin ajuste intermedio

- 5.3.1 Se determinan las correcciones medias de calibración ( $\Delta \bar{x}_{ci}$ ) en cada uno de los q puntos de calibración, mediante:

$$\Delta \bar{x}_{ci} = x_{oi} - \bar{x}_{ci} \quad (13)$$

donde  $\bar{x}_{ci}$  es la media aritmética de las indicaciones al reiterar  $n_c$  medidas sobre el patrón i-ésimo,  $x_{oi}$ , es decir:

$$\bar{x}_{ci} = \frac{1}{n_c} \cdot \sum_{j=1}^{n_c} x_{cij} \quad (14)$$

- 5.3.2 Se estima la varianza de repetibilidad en cada punto de calibración en la forma habitual:

$$s_{ci}^2 = \frac{1}{n_c - 1} \cdot \sum_{j=1}^{n_c} (x_{cij} - \bar{x}_{ci})^2 \quad (15)$$

- 5.3.3 La incertidumbre en cada punto de calibración, para factor de incertidumbre igual a 3 y n medidas ( $n \leq 3$ ), viene dada mediante:

$$I_i(k=3; n \leq 3) = \sqrt{I_{oi}^2 + 9 \cdot s_{ci}^2 \left( \frac{1}{n_c} + \frac{1}{n} \right) + \Delta \bar{x}_{ci}^2} \quad (16)$$

donde  $I_{oi}$  es la incertidumbre ( $k=3$ ) del patrón i-ésimo.

La incertidumbre global ( $k=2$ ) del micrómetro es el máximo de las expresiones anteriores. Es decir:

$$I(k=2; n \leq 3) = \frac{2}{3} \cdot \max(I_i(k=2; n \leq 3)) \quad (17)$$

que se redondea al múltiplo más próximo de la división de escala (E).

En todo caso, si el segundo miembro de (17) proporciona un valor inferior a E se adopta como I ( $k=2; n \leq 3$ ) del micrómetro el valor de la propia división de escala.

La incertidumbre propia del micrómetro es el valor que adopta la incertidumbre global para  $n=1$  medida.

### 5.4 Calibración tipo II, con ajuste intermedio.

- 5.4.1 Se determinan las correcciones medias de calibración ( $\Delta \bar{x}_{ci}$ ) en cada uno de los q puntos de calibración, mediante:

$$\Delta \bar{x}_{ci} = x_{oi} - \bar{x}_{ci} \quad (18)$$

donde  $\bar{x}_{ci}$  es la media aritmética de las indicaciones al reiterar medidas sobre el patrón i-ésimo,  $x_{oi}$ , es decir:

$$\bar{x}_{ci} = \frac{1}{n_c} \cdot \sum_{j=1}^{n_c} x_{cij} \quad (19)$$

5.4.2 Se determina la corrección global promediando los valores (18):

$$\Delta \bar{x}_c = \frac{1}{q+1} \cdot \sum_{j=1}^{q+1} \Delta \bar{x}_{ci} \quad (20)$$

redondeada al múltiplo mas próximo de la división de escala (E).

5.4.3 Si el valor  $\Delta \bar{x}_c$  es igual a cero, se continúa en el apartado **5.4.5**, no diferenciándose esta modalidad de la descrita en **5.3**.

Si el valor  $\Delta \bar{x}_c$  es distinto de cero, se ajusta físicamente la escala del micrómetro mediante la llave al efecto, desplazando su origen el valor correspondiente a  $\Delta \bar{x}_{ci}$  en el sentido adecuado según el signo de dicho valor.

A continuación se vuelven a medir los patrones de calibración y se reiteran en cada uno de ellos  $n_c$  medidas, con las que se prosigue en el apartado siguiente **5.4.4**.

Si  $\Delta \bar{x}_c$  no es cero pero su valor es pequeño (del orden de la división de escala), el ajuste intermedio no proporciona, en general, una mejora apreciable.

[www.gedocal.es](http://www.gedocal.es)

5.4.4 Se determinan las correcciones medias de calibración ( $\Delta \bar{x}_{ci}$ ) en cada uno de los q puntos de calibración, mediante:

$$\Delta \bar{x}_{ci} = x_{oi} - \bar{x}_{ci} \quad (21)$$

donde  $\bar{x}_{ci}$  es la media aritmética de las indicaciones al reiterar  $n_c$  medidas sobre el patrón i-ésimo,  $x_{oi}$ , es decir:

$$\bar{x}_{ci} = \frac{1}{n_c} \cdot \sum_{j=1}^{n_c} x_{cij} \quad (22)$$

5.4.5 Se estima la varianza de repetibilidad en cada punto de calibración en la forma habitual:

$$S_{ci}^2 = \frac{1}{n_c - 1} \cdot \sum_{j=1}^{n_c} (x_{cij} - \bar{x}_{ci})^2 \quad (23)$$

5.4.6 La incertidumbre en cada punto de calibración, para factor de incertidumbre igual a 3 y n medidas ( $n \leq 3$ ), viene dada mediante:

$$I_i(k=3; n \leq 3) = \sqrt{I_{oi}^2 + 9 \cdot S_{ci}^2 \left( \frac{1}{n_c} + \frac{1}{n} \right) + \Delta x_{ci}^{-2}} \quad (24)$$

donde  $I_{oi}$  es la incertidumbre ( $k=3$ ) del patrón i-ésimo.

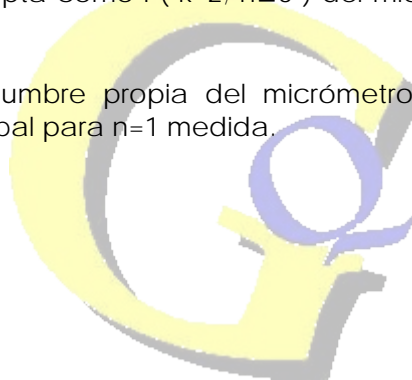
La incertidumbre global ( $k=2$ ) del micrómetro es el máximo de las expresiones anteriores. Es decir:

$$I(k=2; n \leq 3) = \frac{2}{3} \cdot \max(I_i(k=2; n \leq 3)) \quad (25)$$

que se redondea al múltiplo mas próximo de la división de escala (E).

En todo caso, si el segundo miembro de (25) proporciona un valor inferior a E se adopta como  $I(k=2; n \leq 3)$  del micrómetro el valor de la propia división de escala.

La incertidumbre propia del micrómetro es el valor que adopta la incertidumbre global para  $n=1$  medida.



[www.gedocal.es](http://www.gedocal.es)

