

OBJETO

El objeto del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es definir la pauta utilizada en el software CALIBRO para la calibración de pies de rey, que les permita obtener resultados trazables y homogéneos, y que se deriva del proceso de calibración SCI D-004, del Sistema de Calibración del Ministerio de Industria y Energía de España (Miner).

CAMPO DE APLICACIÓN

En este documento van a ser considerados los instrumentos pies de rey con división de escala de 0,01 y 0,05 mm y alcance igual o inferior a 1000 mm y los de división de escala de 0,02 y 0,01 mm y de alcance máximo de 500 mm.

En todos los casos se hace referencia a instrumentos en los que la lectura en el orden de magnitud de la división de la escala se efectúa analógicamente mediante un dispositivo de tipo nonio (figura 1), o sobre un indicador de esfera. También son objeto del presente documento los instrumentos pie de rey provistos de mecanismo de ajuste fino por medio de tornillo de aproximación (figura 2), y aquellos en los que la lectura y su presentación se realizan de forma digital. En ausencia de procesos de calibración específicos, podrán ser calibrados según el procedimiento contenido en este documento aquellos instrumentos de medida de longitudes, cuya constitución o características puedan ser asimilables a las de los tipos de pies de rey antes indicados.

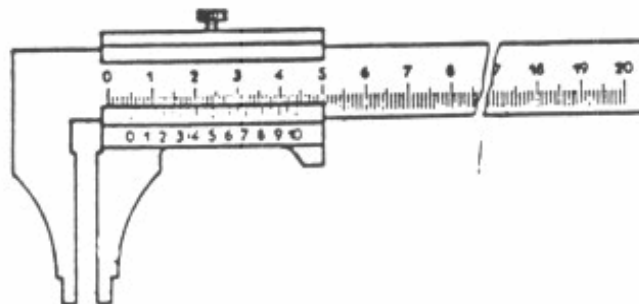


Figura 1.- Pie de rey con juego de bocas único y lectura mediante nonio.

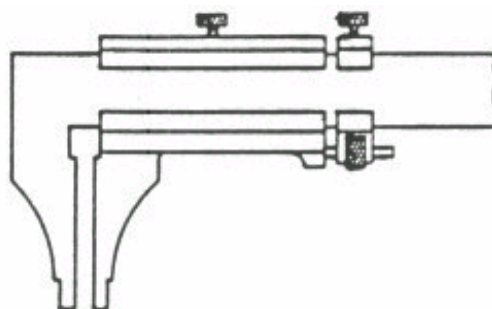


Figura 2.- Pie de rey con juego de bocas único y mecanismo de ajuste fino.

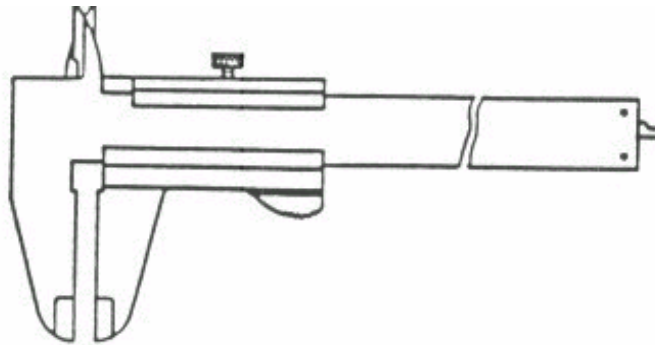


Figura 3.- Pie de rey con doble juego de bocas (una para exteriores y otra para interiores) y sonda de profundidad.

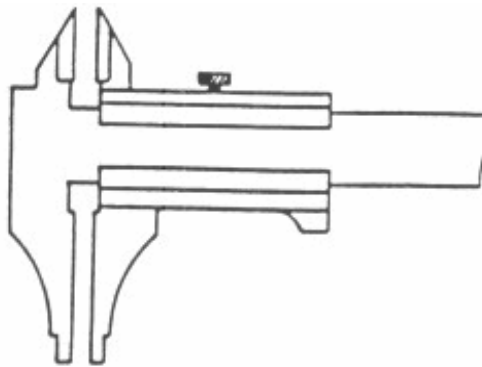


Figura 4.- Pie de rey con doble juego de bocas (una para exteriores e interiores y otra para exteriores con palpadores de cuchillo)

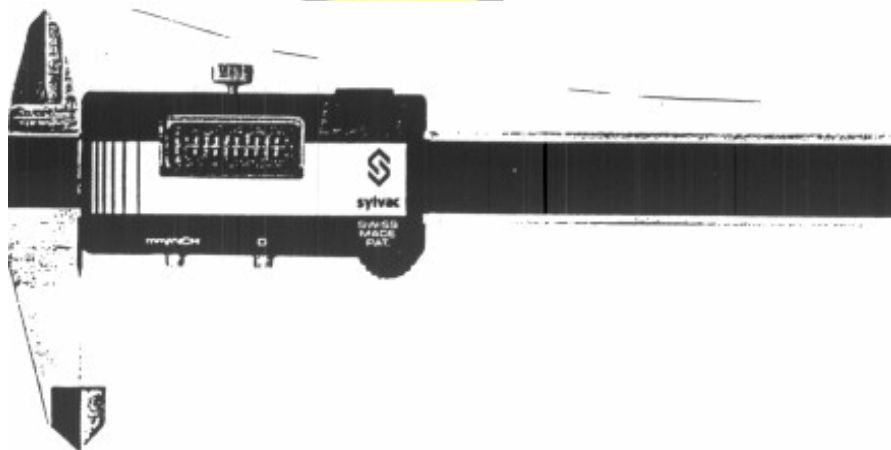


Figura 5.- Pie de rey digital.

Todos los instrumentos aquí considerados son instrumentos de medida de exteriores debiendo tener por ello, al menos, un juego de bocas con palpadores apropiados a tal fin. Generalmente los pies de rey suelen de ir provistos de palpadores para la medida de interiores, situados en el mismo juego de bocas que los exteriores (figuras 1,2 y 4) o en otro par de bocas (figura 3). Cuando los palpadores de interiores van dispuestos sobre las mismas bocas que los de exteriores, la medición de interiores es de carácter indirecto, ya que el resultado de la medida habrá que restarle la

longitud correspondiente al tamaño de dichos palpadores. En ocasiones los pies de rey tienen el segundo juego de bocas adaptado exclusivamente a la medición de exteriores y suelen tener palpadores de tipo cuchillo (figura 4).

En los pies de rey más pequeños, esto es, en los de alcance igual o menor de 200 mm suele ser muy corriente la configuración conocida como "pie de rey universal" (figura 3), dotada de un juego de bocas con palpadores de exteriores de tipo cuchillo; de un segundo juego de bocas con palpadores para interiores de tipo cuchillo; y de una sonda para la medición de profundidades, alojada longitudinalmente en el cuerpo del instrumento. Existen también pies de rey cuyas bocas tienen formas especiales, a fin de posibilitar la medición de cotas limitadas por superficies no fácilmente accesibles, o con formas particulares.

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.

• VERIFICACIONES PREVIAS A LA CALIBRACIÓN.

Antes de proceder a efectuar la calibración de un pie de rey, se deberá realizar una inspección visual del instrumento a fin de comprobar el buen estado de los palpadores, del grabado de las escalas y del ajuste entre partes móviles.

Se sitúa el pie de rey sujeto de forma adecuada, en un proyector de perfiles, y se comprueba la rectitud de los distintos palpadores y sonda de profundidad si la tiene, así como el paralelismo entre palpadores. Esta comprobación se debe efectuar en distintos puntos del campo de medida del instrumento. Una forma simplificada y rápida sería, no observar luz con los palpadores juntos.

En aquellos pies de rey que disponen de un juego de bocas único, para la medida de exteriores e interiores (figuras 1 o 2), o con doble juego de bocas, una para exteriores e interiores y otro para exteriores (figura 4). Hay que determinar además el incremento respecto a su nominal, de la constante de estos palpadores. Para ello se mide la longitud K_p (figura 6), con una medidora horizontal de una coordenada.

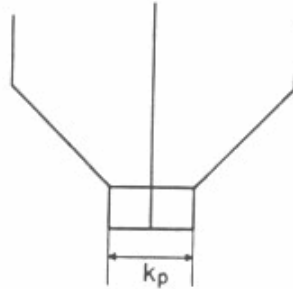


Figura 6.- Pie de rey con bocas comunes para la medida de exteriores e interiores.

La diferencia máxima admisible al nominal ($\Delta K_{m\acute{a}x}$), expresado en fracciones de la división de escala del instrumento, debe ser el indicado en la tabla 1.

Incremento al nominal $\Delta K_{m\acute{a}x}$ (mm)
$< \frac{E}{4}$
$< \frac{E}{2}$

División de escala E (mm)
0,1
0,05
0,02
0,01

Tabla 1.- Diferencias máximas admisibles al nominal, de la constante de los palpadores, en pies de rey con bocas comunes para la medida de exteriores e interiores.

La calibración debe de realizarse en una sala de metrología con temperatura controlada en $20 \pm 2^\circ \text{C}$.

Para calibrar el pie de rey, se deben calibrar los palpadores de exteriores, los de interiores y la sonda, de acuerdo a lo que a continuación se indica.

- **CALIBRACIÓN DE LOS PALPADORES DE EXTERIORES.**

Para efectuar esta calibración, se necesitan los siguientes patrones:

- Bloques patrón longitudinales calidad 2 o superior, o bien
- Barras patrón de extremos.

La formación de patrones por adherencia de bloques patrón longitudinales, se debe reducir al mínimo, no se permite en ningún caso adherir más de cuatro bloques.

La longitud de un patrón formado por adherencia, es igual a la suma de las longitudes de los bloques adheridos. Por ejemplo si se adhieren cuatro bloques de longitudes (L_{o1} , L_{o2} , L_{o3} , y L_{o4}) la longitud del patrón resultante L_o vendrá dada por la ecuación (1).

$$L_o = L_{o1} + L_{o2} + L_{o3} + L_{o4} \quad (1)$$

Si las incertidumbres de todos los bloques adheridos (l_{o1} , l_{o2} , l_{o3} , l_{o4}) tienen el mismo factor (K), la incertidumbre del patrón resultante l_o viene dada por la ecuación (2), para el mismo factor de incertidumbre.

$$l_o = \sqrt{l_{o1} + l_{o2} + l_{o3} + l_{o4}} \quad (2)$$

Los bloques patrón longitudinales o barras patrón de extremos que se vayan a utilizar, se deben dejar estabilizar térmicamente al menos durante quince minutos sobre una superficie metálica, después de efectuada su limpieza. Para evitar que durante las manipulaciones necesarias para la calibración, se calientes en exceso, se deben coger con pinzas o guantes, dejándolos sobre la superficie metálica entre las sucesivas manipulaciones.

El número de puntos de calibración será de 10, su espaciamiento será aproximadamente uniforme y entre estos puntos estarán comprendidos el cero y el alcance o un valor próximo al mismo.

En cada uno de los puntos de calibración seleccionados se efectuarán 10 medidas, reiteradas sobre el nominal correspondiente.

Se procurará que en las distintas reiteraciones efectuadas sobre un patrón, el contacto del instrumento con las caras de medida del mismo, se realice con zonas diferentes de los palpadores.

Con las medidas realizadas, se obtiene una incertidumbre I_E , siguiendo el procedimiento que se indica en el punto 5.

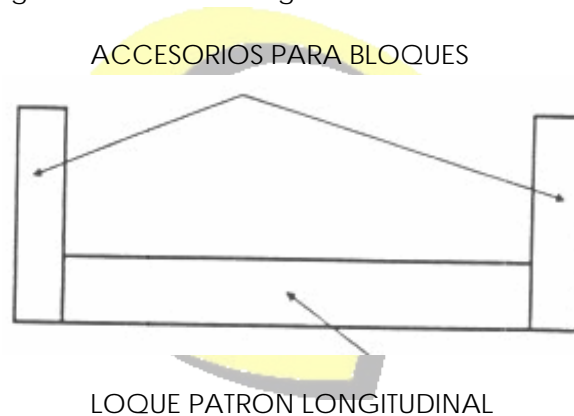
- **CALIBRACIÓN DE LOS PALPADORES DE INTERIORES.**

Para efectuar la calibración, se necesitan los siguientes patrones:

- Bloques patrón longitudinales calidad 2, o superior.
- Accesorios para bloques patrón longitudinales.
- O solamente varios anillos lisos patrón de nominal igual a los puntos seleccionados de calibración.

La calibración de estos palpadores, se realiza haciendo diez medidas reiteradas sobre un punto del campo de medida del instrumento.

Para materializar el punto de calibración, se sitúa el bloque patrón longitudinal, entre los accesorios, según se indica en la figura 7.



Se procurará que en las distintas reiteraciones efectuadas sobre el patrón, el contacto del instrumento con las caras de medida del mismo, se realice con zonas diferentes de los palpadores.

A partir de las diez medidas, se obtiene una incertidumbre I_i siguiendo el procedimiento que se indica en el punto 5.

Si $I_i \leq I_E$ no se realizan más medidas.

Si $I_i > I_E$ se realizan diez medidas reiteradas, sobre otros dos puntos del campo del instrumento.

- **CALIBRACIÓN DE LA SONDA DE PROFUNDIDAD.**

Para efectuar la calibración, se necesitan los siguientes patrones:

- Bloques patrón longitudinales calidad 2 o superior.
- Mesa de planitud.

La calibración de la sonda, se realiza haciendo diez medidas reiteradas sobre un punto del campo de medida del instrumento.

Para materializar el punto de calibración, se sitúa el bloque patrón longitudinal, sobre la mesa de planitud, la medida se realiza entre la cara del bloque opuesta a la de apoyo con la mesa, y la superficie de la misma.

Se procurará que en las distintas reiteraciones efectuadas sobre un patrón, el contacto del instrumento con la mesa de planitud, se realice en las diversas zonas de medida del bloque patrón longitudinal y de la base de medida de la sonda (extremo del pie de rey).

A partir de las diez medidas, se obtiene una incertidumbre l_s , siguiendo el procedimiento que se indica en el punto 5.

Si $l_s \leq l_E$ no se realizan más medidas.

Si $l_s > l_E$ se realizan diez medidas reiteradas, sobre otros dos puntos del campo del instrumento.

5- RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

5.1.- Resultados para los palpadores de exteriores.

La calibración de los palpadores de exteriores se realiza sobre:

$i = 1 \dots \dots \dots N$ puntos de calibración ($N=10$).

$J = 1 \dots \dots \dots n$ medidas reiteradas sobre el mismo punto de calibración ($n 10$).

En cada punto de calibración se calcula la media aritmética y la desviación típica de las medidas realizadas, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x}_{ci} = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n} \quad (3)$$

$$S_{ci} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_{ci})^2}{n-1}} \quad (4)$$

siendo:

x_{ij} = resultado de la medida j en el punto i .

\bar{x}_{ci} = media aritmética de las medidas del punto de calibración i .

S_{ci} = desviación típica de las medidas del punto de calibración i .

A continuación se obtiene la corrección de calibración en cada punto, mediante la ecuación:

$$\Delta_{ci} = x_{oi} - \bar{x}_{ci} \quad (5)$$

siendo:

Δ_{ci} = corrección de calibración correspondiente al punto de calibración i .

x_{oi} = valor del patrón en el punto de calibración.

A partir de estos datos se obtiene la incertidumbre (para $k = 2$) en cada punto de calibración, con la ecuación siguiente:

$$I_i = \sqrt{0,44 \cdot I_{oi}^2 + 4 \cdot S_{ci}^2 \cdot \left(\frac{1}{n} + 1\right) + \Delta_{X_{ci}}^2} \quad (6)$$

siendo:

I_i = incertidumbre en el punto de calibración i , para $k = 2$.

I_{oi} = incertidumbre del patrón para $k = 3$ en el punto de calibración i .

Se toma como incertidumbre de los palpadores de exteriores, la máxima de las incertidumbres obtenidas con la ecuación (6), redondeada por exceso al valor de la división de escala más próximo.

$$I_E = \max (I_i) \quad (7)$$

siendo:

I_E = incertidumbre de los palpadores de exteriores para $k = 2$.

Se considera que en el uso normal del instrumento, se realiza una sola medida sin reiteraciones.

5.2.- Resultados para los palpadores de interiores.

La calibración de los palpadores de interiores se realiza sobre:

$i = 1 \dots N$ puntos de calibración, $N=1$.

$J = 1 \dots n$ medidas reiteradas sobre el mismo punto de calibración, $n = 10$.

Con las diez medidas realizadas se calcula la media aritmética y la desviación típica de las medidas realizadas, de acuerdo con las siguientes ecuaciones :

www.gedocal.es

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (3)$$

$$S_{ci} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_{ci})^2}{n-1}} \quad (4)$$

A continuación se obtiene la corrección de calibración en cada punto, mediante la ecuación:

$$\Delta_{ci} = x_{oi} - \bar{x}_{ci} \quad (5)$$

A partir de estos datos se obtiene la incertidumbre (para $k = 2$) en cada punto de calibración, con la ecuación siguiente:

$$I_{li} = \sqrt{0,44 \cdot I_{oi}^2 + 4 \cdot S_{ci}^2 \cdot \left(\frac{1}{n} + 1\right) + \Delta_{X_{ci}}^2} \quad (8)$$

siendo:

I_{ii} = incertidumbre en el punto de calibración i , para $k = 2$.

Esta se redondea por exceso al valor de la división de escala más próximo.

$$I_i = I_{ii} \text{ redondeada} \quad (9)$$

siendo:

I_i = incertidumbre de los palpadores de interiores para $k = 2$.

Si $I_i \leq I_E$ no se realizan más medidas, dando por finalizada la calibración de los palpadores de interiores.

Si $I_i > I_E$ se realizan diez medidas reiteradas sobre otros dos puntos del campo del instrumento, calculando en cada uno su media y desviación típica, con las ecuaciones (3) y (4), y la incertidumbre mediante la ecuación (8).

Se toma como incertidumbre de los palpadores de interiores, la máxima de las incertidumbres obtenidas con la ecuación (6), redondeada por exceso al valor de la división de escala más próximo.

$$I_I = \text{máx} (I_{ii}) \quad (7)$$

5.3.- Resultados para la sonda de profundidad.

La calibración de la sonda de profundidad se realiza sobre:

$i = 1 \dots N$ puntos de calibración ($N=1$).

$J = 1 \dots n$ medidas reiteradas sobre el mismo punto de calibración, $n = 10$.

Con las diez medidas realizadas se calcula la media aritmética y la desviación típica de las medidas realizadas, de acuerdo con las siguientes ecuaciones :

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (3)$$

$$S_{ci} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_{ci})^2}{n-1}} \quad (4)$$

A continuación se obtiene la corrección de calibración en cada punto, mediante la ecuación (5):

$$\Delta_{ci} = x_{oi} - \bar{x}_{ci} \quad (5)$$

A partir de estos datos se obtiene la incertidumbre (para $k = 2$) en cada punto de calibración, con la ecuación siguiente:

$$I_{Si} = \sqrt{0,44 \cdot I_{oi}^2 + 4 \cdot S_{ci}^2 \cdot \left(\frac{1}{n} + 1\right) + \Delta X_{ci}^{-2}} \quad (11)$$

siendo:

I_{Si} = incertidumbre en el punto de calibración i, para k = 2.

Esta se redondea por exceso al valor de la división de escala más próximo.

$$I_S = I_{Si} \text{ redondeada} \quad (12)$$

siendo:

I_S = incertidumbre de la sonda de profundidad para k = 2.

Esta se redondea por exceso al valor de la división de escala más próximo.

Si $I_S \leq I_E$ no se realizan más medidas, dando por finalizada la calibración de los palpadores de interiores.

Si $I_S > I_E$ se realizan diez medidas reiteradas sobre otros dos puntos del campo del instrumento, calculando en cada uno su media y desviación típica, con las ecuaciones (3) y (4), y la incertidumbre mediante la ecuación (11).

Se toma como incertidumbre de la sonda de profundidad, la máxima de las incertidumbres obtenidas con la ecuación (11), redondeada por exceso al valor de la división de escala más próximo.

$$I_S = \text{máx} (I_{Si}) \quad (13)$$

5.4.- INCERTIDUMBRE FINAL QUE SE ASIGNA AL PIE DE REY.

www.gedocal.es

Una vez que se han calculado las incertidumbres I_E , I_I , I_S de acuerdo con las ecuaciones (7), (9 o 10) y (12 o 13) respectivamente, se asigna como incertidumbre del pie de rey, la máxima de ellas, para un factor de incertidumbre k=2.

$$I_F = \text{máx} (I_E , I_I , I_S) \quad (14)$$



Procedimiento de calibración de Pies de rey is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 3.0 España License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/).
Based on a work at gedocal.es.