

## OBJETO

El objeto del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es definir la pauta utilizada en el software CALIBRO para la calibración de las medidoras de una coordenada horizontal, que se deriva de los procesos de calibración SCI D-010 de forma que permitan obtener resultados trazables y homogéneos.

Es obligatoria la calibración mediante bloques patrón longitudinales en medidoras con campo de medida no superior a 1 metro, y la determinación de la dispersión de repetibilidad en medidoras con campos de medida mayores.

## CAMPO DE APLICACIÓN

Las medidoras de una coordenada horizontal consideradas, tienen un campo de medida no superior a 1 metro y los valores habituales de la división de la escala son de  $0,5 \mu\text{m}$  ó  $1 \mu\text{m}$ , encontrándose algunas medidoras con valores de 0,1; 0,2; 2 ó 5  $\mu\text{m}$ . No obstante, este proceso de calibración también es aplicable a medidoras de una coordenada horizontal con campo de medidas superiores al máximo indicado, en ausencia de procesos de calibración específicos y con las modificaciones que se indican.

Las medidoras de una coordenada horizontal, objeto del presente proceso de calibración, realizan la medición mediante palpado mecánico con dispositivo regulador de fuerza o por sistema óptico con microscopio de enrase. Estas medidoras pueden incorporar lectura digital o analógica sobre escalas directas o a través de lector óptico.

## PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.

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

Las medidoras de una coordenada horizontal más frecuentes operan con palpado mecánico y en un solo sentido de medida (decreciente) de forma absoluta y directa, aunque también pueden realizar medidas diferenciales con movimiento de palpado creciente, como las de interiores, y medidas especiales, como las de pasos de husillos roscados. Ante esta diversidad operativa, la calibración prescrita se refiere al principio básico de medida de estos instrumentos mediante palpado mecánico.

La calibración es diferente según el campo de medida ( **C** ) de la medidora de una coordenada horizontal, procediéndose a realizar, al menos las siguientes operaciones obligatorias:

**C ≤ 1 m** : Calibración mediante bloques patrón longitudinales (apartados 4.2 y 5.2).

**C > 1 m** : Verificación en vacío del sistema de medida y medidas de repetibilidad (apartados 4.1, 5.1 y 6).

La verificación en vacío del sistema de medida (apartado 4.1), tiene por objeto la detección de zonas del campo de medida en las que pudiesen presentarse desviaciones excesivas en las indicaciones, con objeto de establecer en las mismas una calibración directa más minuciosa mediante patrones adecuados. Para las

medidoras con un campo de medida igual o inferior a 1 m, esta primera etapa no es obligatoria y el presente proceso de calibración la incluye con carácter opcional.

La medidora objeto de la calibración, debe de estar instalada en una sala de metrología con temperatura controlada en  $(20 \pm 1^\circ\text{C})$ .

El juego de palpadores básicos de la medidora (palpadores planos), una vez bien limpios y antes de iniciar la calibración, es comprobarán en planitud con un patrón de vidrio, verificando que las desviaciones de planitud de los mismos no exceden de  $1 \mu\text{m}$  (4 franjas de interferencia); en caso contrario, no se realizará la calibración de la medidora hasta que se revisen o sustituyan los palpadores básicos.

Antes de iniciar la calibración, la medidora deberá estar encendida y dispuesta para medir durante unos veinte minutos.

### **Verificación en vacío del sistema de medida de la medidora mediante láser.**

Esta verificación es obligatoria para las medidoras con campo de medida superior a 1 m. En las medidoras con campo de medida igual o inferior a 1 m, esta verificación tiene carácter opcional y el SCI no obliga a su realización.

La verificación se realizará con un equipo láser para medida de desplazamientos por interferometría, situando el interferómetro sobre el palpador fijo y el espejo reflector sobre la unidad de la medidora que soporta el palpador móvil, o cualquier otro montaje equivalente.

Encendida la medidora, se realizará el alineamiento de las ópticas con el emisor láser, dejando que se estabilicen la medidora y el sistema láser durante veinte minutos.

Las condiciones ambientales de temperatura, presión y humedad se deberán registrar con la calidad necesaria para realizar las correcciones adecuadas sobre el equipo láser, que aseguren su incertidumbre en valores admisibles, siendo deseable que dicha incertidumbre sea cinco veces inferior, al menos, a la división de escala de la medidora.

Se dispondrán captadores para la determinación de la temperatura de la medidora en al menos dos puntos próximos a los elementos de medida de la medidora y alejados de posibles focos caloríficos.

No se introducirán correcciones debidas a la temperatura de la medidora, pero dicha temperatura (promedio de la indicada por los captadores situados sobre la medidora), se registrará al final de cada pasada de verificación y deberá indicarse junto con los resultados obtenidos.

Se realizarán  $n_v = 5$  pasadas de verificación sucesivas, entendiendo que una pasada incluye tanto el desplazamiento creciente, a partir de cero, sobre todo el campo de medida, como el decreciente, hasta la vuelta a cero.

Se utilizará la siguiente simbología:

$N$  : Número de puntos de verificación en todo el campo de medida (media pasada).

$\uparrow$  : Sentido de desplazamiento creciente.

$\downarrow$  : Sentido de desplazamiento decreciente.

$X_{oi}$  : Nominal previsto para la verificación en el punto i-ésimo.

$X_{oij} \uparrow$  : Indicación del láser (patrón) en el punto de verificación i-ésimo, durante la pasada j-ésima y en sentido creciente.

$X_{oij} \downarrow$  : Indicación del láser (patrón) en el punto de verificación i-ésimo, durante la pasada j-ésima y en sentido decreciente.

$X_{ij} \uparrow$  : Indicación de la medidora en el punto de verificación i-ésimo, durante la pasada j-ésima y en sentido creciente.

$X_{ij} \downarrow$  : Indicación de la medidora en el punto de verificación i-ésimo, durante la pasada j-ésima y en sentido decreciente.

$U_{oi}$  : Incertidumbre de las indicaciones del láser (patrón) en el punto de verificación i-ésimo, para un factor de incertidumbre  $k=1$ .

$T_j$  : Temperatura de la medidora al acabar la pasada i-ésima.

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

Al tener que desplazar el elemento móvil de forma manual y siempre en el mismo sentido de movimiento, los valores del patrón (láser),  $X_{oij}$ , no serán exactamente coincidentes en el punto de verificación i-ésimo durante las pasadas, aunque se procurará que dichos valores no se separen más de 1 mm del valor nominal previsto,  $X_{oi}$ .

Se seleccionarán  $N = 11$  puntos de verificación, de manera que se sitúen aproximadamente equidistantes sobre todo el campo de medida.

### Calibración mediante bloques patrón longitudinales.

Es obligatoria para las medidoras con campo de medida igual o inferior a 1 m, y se realizará midiendo bloques patrón longitudinales de calidad 0 ó 1.

Siendo  $L$  el alcance de la medidora, en mm, se calcularán los valores:

$$D_{0max} = (0,1 + 0,002 \cdot L) \mu\text{m}.$$

$$D_{1max} = (0,2 + 0,004 \cdot L) \mu\text{m}.$$

que representan las desviaciones máximas admisibles, al nominal, de los bloques patrón longitudinales de calidad 0 y 1, respectivamente.

La calidad de los bloques a utilizar y el valor e incertidumbre a asignar a cada uno de ellos se deducen, en función de la división de escala de la medidora,  $E$  (mm), de acuerdo con la tabla siguiente:

Valor relativo de E	Calidad	Valor del bloque (Ko)	Incertidumbre (Uo con Ko = 1)
$D_{1max} < E$	0 ó 1	Nominal	Certif. O $\frac{D_{1max}}{3}$ $i = 0 \text{ o } 1$
$D_{0max} < E \leq D_{1max}$	0	Nominal	Certif. O $\frac{D_{0max}}{3}$
	1	Nominal + desviación certif.	Certificada
$E \leq D_{0max}$	0 ó 1	Nominal + desviación certif.	Certificada

Antes de iniciar las medidas de calibración se realizará el ajuste de la medidora con el juego de palpadores básicos (palpadores planos) que puede efectuarse:

- Haciendo contacto diez veces consecutivas para llevar el valor medio de la indicación resultante a cero (ajuste a cero). O.
- Repitiendo diez medidas sobre un bloque patrón longitudinal de calidad 0 y nominal entre 5 y 20 mm y determinando su valor medio, que se ajustará al valor certificado del bloque.

Para la realización del ajuste del apartado anterior, se recomienda hacer varios contactos posteriores, hasta obtener una lectura que sea precisamente el valor medio calculado, ajustando en el la escala.

La constante  $K$  de cualquier otro juego de palpadores se obtendrá efectuando posteriormente diez medidas entre ellos o sobre un bloque patrón longitudinal conocido, y restando de la media de las indicaciones obtenidas el valor del patrón empleado (cero o valor certificado del bloque, respectivamente). Si la medidora posee cero flotante, se introducirá el cero o valor certificado en un contacto posterior en el que la indicación coincida con la media obtenida. Si la medidora no incluye este dispositivo, se conservará el valor de  $K$ , que deberá restarse del resultado obtenido al utilizar estos palpadores.

En todo caso, la calibración prescrita en este proceso de calibración, se realizará con palpadores de punta esférica, para facilitar una mejor alineación de los bloques.

La calibración se realizará midiendo en once puntos, que se distribuirán aproximadamente equidistantes sobre el campo de medida.

No se admitirá la composición de bloques por adherencia.

Antes de realizar medidas sobre el patrón correspondiente a cada punto de calibración se alineará convenientemente, actuando sobre la mesa de apoyo y buscando el mínimo de las indicaciones en dos direcciones perpendiculares.

En cada punto de calibración se reiteran diez medidas, cinco con el patrón en una posición y cinco en posición invertida, de forma que las caras extremas se enfrenten cinco veces a cada palpador. Es deseable que los cambios de posición se produzcan alternativamente después de cada medición, y en todo caso, se modificará la alineación, volviendo a realinear, después de cada medida.

Los valores de los patrones y las indicaciones de la medidora pueden disponerse en tablas similares a las del ejemplo.

## RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Resultados de la verificación en vacío del sistema de medida de la medidora mediante láser.

5.1.1.- Se determinan las diferencias.

$$\Delta X_{ij} \uparrow = (X_{oij} - X_{ij}) \uparrow \quad (1)$$

$$\Delta X_{ij} \downarrow = (X_{oij} - X_{ij}) \downarrow$$

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

$$\Delta \bar{X}_i \uparrow = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \Delta X_{ij} \uparrow \quad (2)$$

$$\Delta \bar{X}_i \downarrow = \frac{1}{5} \sum_{j=6}^{10} \Delta X_{ij} \downarrow$$

$$\Delta \bar{X}_i = \frac{1}{2} (\Delta \bar{X}_i \uparrow + \Delta \bar{X}_i \downarrow) \quad (3)$$

y el juego

$$J_i = |\Delta \bar{X}_i \uparrow + \Delta \bar{X}_i \downarrow| \quad (4)$$

Todos los valores se obtendrán con una cifra significativa más que la correspondiente a la división de la escala de la medidora.

Se calculará el estimador de la varianza ( $S_i^2$ ) de repetibilidad en cada punto de verificación mediante la expresión:

$$S_i^2 = \frac{1}{9} \left| \sum_{j=1}^5 (\Delta X_{ij} \uparrow - \Delta \bar{X}_i)^2 + \sum_{j=6}^{10} (\Delta X_{ij} \downarrow - \Delta \bar{X}_i)^2 \right| \quad (5)$$

Con los valores anteriores se establecerá un gráfico en el que se representarán, para cada nominal,  $X_{oi}$ , los valores de la desviación media,  $\Delta \bar{X}_i$ , y la desviación típica estimada  $S_i$  o cantidad proporcional a la misma. Es frecuente representar una franja cuya línea media recoja los valores de  $\Delta \bar{X}_i$ , y con una amplitud sobre ella de  $\pm 3S_i$ .

Valores excesivos del juego o de la desviación de la franja de comportamiento indicada en el apartado anterior, pueden aconsejar una calibración más minuciosa en todo el campo de medida o en determinadas zonas del mismo mediante la medición directa de patrones de la precisión adecuada.

### Resultados de la calibración mediante bloques patrón longitudinales.

Se obtendrán las diferencias entre los valores de los patrones ( $X_{oi}$ ) y la media aritmética ( $\bar{X}_{ci}$ ) de las indicaciones ( $X_{cij}$ ) en cada uno de los once puntos de calibración:

$$\Delta \bar{X}_{ci} = X_{oi} - \bar{X}_{ci} \quad (6)$$

siendo

$$\bar{X}_{ci} = \frac{1}{10} \cdot \sum_{j=1}^{10} X_{cij} \quad (7)$$

donde el subíndice  $j$  representa diferentes indicaciones al repetir medidas sobre el patrón ( $X_{oi}$ ) y el subíndice  $i$  caracteriza el punto de calibración ( $i = 1, 2, 3, \dots, 11$ ).

Estas diferencias son las correcciones en cada punto de calibración, que se expresarán con una cifra significativa más que la correspondiente a la división de escala de la medidora.

Podrá aplicarse algún criterio de rechazo sobre las medidas ( $X_{cij}$ ) reiteradas en cada punto de calibración, a condición de especificarlo en el certificado de calibración y siempre que se limite su aplicación a una sola vez en cada punto de calibración, con reposición de la medida rechazada, en su caso.

Se determinará la media aritmética de las correcciones de los puntos de calibración, por medio de

$$\Delta X_c = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} \bar{X}_{ci} \quad (8)$$

Se calcularán las desviaciones  $\delta_i$  en cada punto de calibración a partir de

$$\delta_i = \Delta \bar{X}_{ci} - \Delta X_c \quad (9)$$

Haciendo contacto entre los palpadores, se ajustará la escala con la corrección común,  $\Delta X_c$ , definida por (8) y redondeada a la cifra significativa más próxima en el nivel de división de escala, cuidando de desplazar el índice en sentido creciente si  $\Delta X_c$  es positivo y en sentido decreciente si  $\Delta X_c$  es negativo.

Si la medidora no tiene una referencia absoluta o dispositivos de memoria adecuados, se realizará esta operación cada vez que se conecte la medidora, con el valor de  $\Delta X_c$  obtenido en la última calibración, o se añadirá la corrección común al resultado de las medidas obtenidas.

Se admitirá no realizar el ajuste de escala de la medidora ni corregir los resultados de sus indicaciones, a condición de incrementar su incertidumbre.

Se determinará el estimador de la varianza ( $S_{ci}^2$ ) de repetibilidad en cada punto de calibración mediante:

$$S_{ci}^2 = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^{10} (X_{cij} - \bar{X}_{ci})^2 \quad (10)$$

reteniéndose dos cifras significativas por debajo del nivel de división de escala de la medidora.

La incertidumbre global que se asignará a una medida de la medidora de una coordenada horizontal, para un factor de incertidumbre,  $k = 2$ , viene dada por:

$$U(K = 2; n = 1) = \max \cdot \sqrt{4 \cdot u_{oi}^2 + 4,4 \cdot S_{ci}^2 + 0,44 \cdot \delta_i^2} \quad (11)$$

donde  $u_{oi}$  es el valor de la incertidumbre del patrón ( $K_{oi} = 1$ ) señalada en la tabla del apartado 4.2.1. El valor obtenido de la expresión (11) se redondeará por exceso al menor múltiplo de la división de escala de la medidora.

Podrá aceptarse una disminución de la incertidumbre asignada al resultado de una medición, cuando aquél se obtenga como valor medio de  $n$  medidas sucesivas y se calcule su incertidumbre por medio de la expresión:

$$U(k = 2, n) = \max \cdot \sqrt{4 \left[ u_{oi}^2 + \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{n} \right) S_{ci}^2 \right] + 0,44 \cdot \delta_i^2} \quad (12)$$

con igual criterio de redondeo que en el apartado anterior.

No se aceptará reducir  $U$ , por aplicación de la expresión anterior, para  $n > 3$ , reiteraciones de medidas.

Queda en libertad el usuario para no realizar el ajuste de escala ni la corrección del resultado, debiendo, en ese caso, asignar a la incertidumbre de la medidora el valor:

Para mediciones concretas de especial responsabilidad, se admitirá la realización de una calibración específica en el entorno del valor a medir o la utilización de una

interpolación lineal entre los puntos más próximos de la calibración en vigor que limiten aquel valor. Esta interpolación lineal entre los puntos de calibración **q-ésimo** y (**q+1**)-ésimo permite determinar la corrección e incertidumbre a asignar mediante:

$$\Delta X_c = a_q \cdot \Delta X_{cq} + a_{q+1} \cdot \Delta X_{cq+1} \quad (15)$$

$$U = \sqrt{a_q^2 \cdot U_q^2 + a_{q+1}^2 \cdot U_{q+1}^2} \quad (16)$$

donde los coeficientes de interpolación se obtendrán por medio de:

$$a_q = \frac{\overline{X}_{cq+1} - \overline{X}'}{\overline{X}_{cq+1} - \overline{X}_{cq}} \quad a_{q+1} = \frac{\overline{X}' - \overline{X}_{cq}}{\overline{X}_{cq+1} - \overline{X}_{cq}} \quad (17)$$

representando  $\overline{X}'$  el resultado de la medida sin corregir;  $X_{cq}$  y  $X_{cq+1}$  los puntos de calibración, e  $U_q$  e  $U_{q+1}$  las incertidumbres ( $k = 2$ ) dadas por:

$$U_q = 2 \cdot \sqrt{u_{oq}^2 + 1,1 \cdot S_{cq}^2} \quad (18)$$

$$U_{q+1} = 2 \cdot \sqrt{u_{oq}^2 + 1,1 \cdot S_{cq+1}^2} \quad (19)$$

## CALIBRACIÓN DE MEDIDORAS CON CAMPOS DE MEDIDA SUPERIORES A 1 METRO.

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

Las medidoras de una coordenada horizontal con campos de medida superiores a 1 metro y palpado mecánico no son muy frecuentes y su calibración mediante medida directa de patrones materiales es prácticamente inviable, al menos con una sistemática general. Por este motivo, y mientras no se dispongan de otros procesos de calibración alternativos, se realizará una calibración con láser para estas medidoras, complementada con tres medidas de repetibilidad, en la forma que se indica seguidamente:

La calibración se desarrollará con una metodología similar a la establecida en el apartado 4.1., pero exigiendo un número **N** de puntos de calibración con separaciones no superiores a 200 mm. En todo caso, el número mínimo de puntos de calibración será de 11.

Se determinarán los parámetros  $\Delta \overline{x}_j$  y  $S_j$  de la misma forma que en los apartados 5.1.1. y 5.1.2.

Con los criterios indicados en el apartado 4.2.1. y haciendo  $L = 1$  m, se seleccionarán tres bloques patrón longitudinales cuyos nominales se encuentren en cada uno de los tres intervalos siguientes:

125 mm a 300 mm; 400 mm a 600 mm; 800 mm a 1000 mm.

Se efectuarán diez medidas sobre cada patrón, en la forma indicada en el apartado 4.2.9., evaluándose la varianza de repetibilidad de cada serie mediante la expresión (10). El máximo de estos tres valores se representará mediante  $S_r^2$ .

La incertidumbre global ( $k = 2$ ;  $n = 1$ ) se estimará mediante la expresión:

$$U(k = 2; n = 1) = \max \cdot \sqrt{4 \cdot u_{oi}^2 + 0,4 \cdot S_i^2 + 0,44 \cdot \Delta \bar{x}_i^{-2} + 4 \cdot S_r^2} \quad (20)$$

donde  $U_{oi}$  es la incertidumbre ( $k = 1$ ) del patrón (láser).



Procedimiento de calibración de medidora de una coordenada horizontal 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 [gesdocal.es](http://www.gesdocal.es).