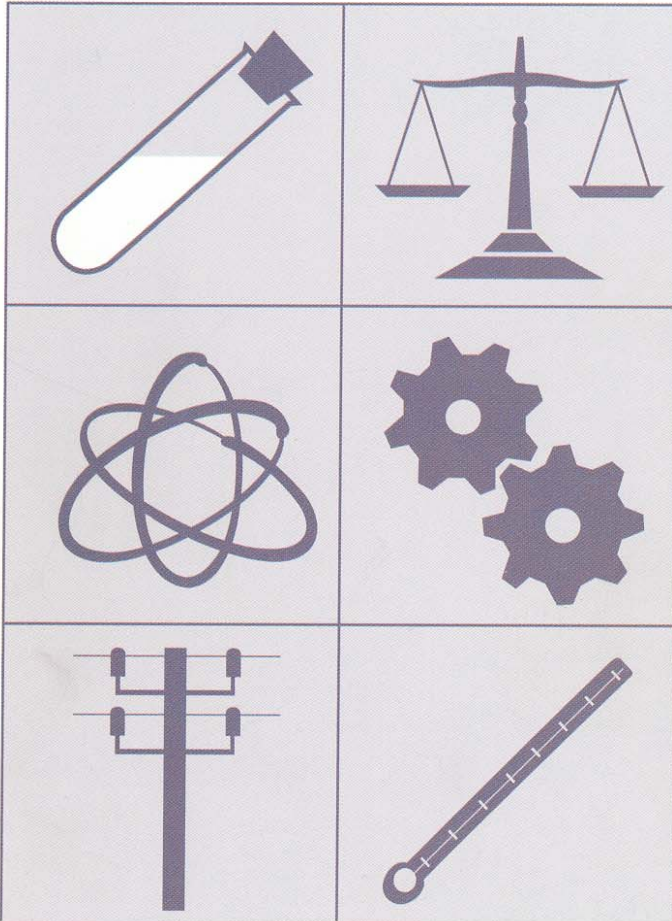


# Metrología

## PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN



### PROCEDIMIENTO DI-012 PARA LA CALIBRACIÓN DE REGLAS RÍGIDAS DE TRAZOS

m 10

Este procedimiento ha sido revisado, corregido y actualizado, si ha sido necesario.

La presente edición se emite en formato digital. Hay disponible una edición en papel que se puede adquirir en nuestro departamento de publicaciones.

Este procedimiento de calibración es susceptible de modificación permanente a instancia de cualquier persona o entidad. Las propuestas de modificación se dirigirán por escrito, justificando su necesidad, a cualquiera de las siguientes direcciones:

Correo postal  
Centro Español de Metrología  
C/ del Alfar, 2,  
28760 Tres Cantos, Madrid

Correo electrónico  
[cem@cem.es](mailto:cem@cem.es)



## ÍNDICE

	Página
1. OBJETO .....	4
2. ALCANCE .....	4
3. DEFINICIONES .....	4
4. GENERALIDADES .....	5
4.1. Reglas rígidas de trazos .....	5
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 .....	7
6.1. Cálculo de incertidumbres .....	8
6.2. Interpretación de resultados .....	13
7. REFERENCIAS .....	14
8. ANEXO: Ejemplo numérico de aplicación del procedimiento descrito. ....	15



## 1. OBJETO

El presente procedimiento tiene por objeto mostrar un método para la calibración de reglas rígidas de trazos, codificadas como D-02.01 según la Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional (ref. [5]).

## 2. ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a reglas rígidas de trazos, con longitudes hasta 3 000 mm y división de escala mayor de 0,1 mm (generalmente 0,5 mm y 1 mm), mediante medidora de coordenadas dotada de microscopio de enrase.

## 3. DEFINICIONES

### Enrasar:

En el sentido dado en el presente procedimiento, acción cuyo efecto es lograr la coincidencia entre la línea que define el trazo de la regla y alguna de las líneas del retículo perteneciente al microscopio de enrase.

### Alinear:

En el sentido dado en el presente procedimiento, proceso mediante el cual la regla de trazos queda situada sobre el soporte de sujeción de forma que la superficie o arista tomada como referencia quede paralela a la dirección del movimiento de la máquina medidora por coordenadas, eliminándose el error de coseno en la medición.



## 4. GENERALIDADES

### 4.1. Reglas rígidas de trazos

Las reglas de trazos suelen ser paralelepípedos, generalmente con sección rectangular. Los trazos se sitúan en uno o ambos bordes de la superficie graduada. Algunas reglas presentan biselado el borde graduado. Existen reglas en las que la escala graduada se extiende a lo largo de toda la longitud y otras en que la escala comienza y acaba a cierta distancia de sus extremos, normalmente unos 10 mm, lo cual debe tenerse en cuenta en el momento de la calibración, para situar los apoyos.

El presente procedimiento se basa en la medición de los trazos de la regla con una medidora de coordenadas dotada de microscopio de enrase. También podría utilizarse un banco de calibración con un sistema láser y el correspondiente microscopio de enrase, pero este método, aunque similar al anterior, no se contempla en el presente procedimiento, por no ser habitual en los laboratorios industriales.

## 5. DESCRIPCIÓN

### 5.1. Equipos y materiales

Para la calibración se utilizará una medidora de una coordenada horizontal o de tres coordenadas, que cuente con la posibilidad de acoplarle un microscopio de enrase o algún tipo de cámara de visión.

La incertidumbre de uso de la medidora, será al menos 1/10 de la división de escala de la regla. Asimismo, para el conocimiento de la temperatura, es recomendable contar con un termómetro de resolución igual o mejor de 0,5 °C.

Es conveniente que, para evitar deformaciones de los trazos, durante la calibración la regla se apoye sobre una mesa de planitud de calidad II o mejor según UNE-82-309.



En el caso de reglas largas, es conveniente apoyarlas sobre dos soportes (que pueden ser bloques patrón longitudinales) situados en los puntos que causan la mínima deformación, distantes  $0,22L$  de cada extremo, siendo  $L$  la longitud total de la regla.

## 5.2. Operaciones previas

- 5.2.1. Para proceder a la calibración de una regla de trazos, ésta debe encontrarse perfectamente identificada en lo que se refiere a MARCA, MODELO y NÚMERO DE SERIE. En caso de que no exista alguno de estos datos, se procederá a la identificación del instrumento de la mejor forma posible (p. ej., mediante etiqueta fuertemente adherida al instrumento, con un código único que podría ser el dado por el propio usuario o uno dado por el laboratorio) de forma que no surja duda alguna en cuanto a la correspondencia entre el equipo calibrado y el Certificado emitido.
- 5.2.2. La calibración se realizará en un recinto acondicionado, con una temperatura de  $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ , donde la variación de temperatura durante la calibración no superará  $1\text{ °C}$ .
- 5.2.3. Se procederá a una limpieza exhaustiva de la regla y se realizará una inspección visual para comprobar el buen estado de la arista de medida y de la superficie de apoyo, así como el adecuado grabado de los trazos, dejándola estabilizar en la zona de calibración al menos 3 horas.
- 5.2.4. Antes de proceder a la calibración, se alineará de forma adecuada, para evitar el posible error de coseno. Esto se llevará a cabo mediante ajuste de la regla respecto a la dirección del movimiento de la medidora, hasta conseguir que la desalineación sea igual o menor de  $0,1$  grados.

## 5.3. Proceso de calibración



- 5.3.1. La calibración se realizará midiendo una única vez cada trazo y siempre en sentido creciente, en un número de puntos  $n_c$  acordado con el cliente según sus necesidades de utilización, o bien obtenido mediante la expresión:

$$n_c = \frac{2}{100} N$$

siendo  $N$  el número total de trazos de la regla, debiendo en todo caso ser  $n_c$  igual o mayor que 10.

La repetibilidad se evaluará eligiendo un trazo y midiendo al menos 10 veces la distancia desde el origen a ese trazo.

- 5.3.2. Se enrasa el trazo 0 de la escala con el retículo del microscopio y, tomando como referencia dicho enrase, se desplaza el microscopio a los siguientes puntos de calibración, procediendo a enrases sucesivos, obteniendo en todos los casos la distancia desde el trazo 0 hasta cada uno de los puntos de calibración.

## 5.4. Toma y tratamiento de datos

- 5.4.1. Registrar los valores enrasados sobre la regla y los valores indicados por la medidora.
- 5.4.2. Se determinan las desviaciones en cada punto de calibración como la diferencia entre los valores indicados por el patrón (medidora) en los puntos  $j$ ,  $x_{oj}$ , y los valores obtenidos en los sucesivos enrases sobre la regla,  $x_{cj}$ .

$$d_j = x_{oj} - x_{cj}$$

## 6. RESULTADOS



El objeto de la calibración es determinar como magnitud de salida las correcciones de calibración y la incertidumbre asociada a dichas correcciones.

Como modelo de la función de salida puede tomarse el siguiente, en el que la corrección de calibración en cada punto ( $c_j$ ), viene dada por la siguiente ecuación.

$$c_j = d_j + c_{x_{oj}} + c_A + c_T + c_{DE} + c_{o_{DE}} \quad (1)$$

donde:

- $d_j$  Desviación de calibración en el punto  $j$ .
- $c_{x_{oj}}$  Corrección debida al patrón (medidora), donde se englobarán las siguientes componentes:
  - $c_{OJ}$  Debida a la calibración de la medidora.
  - $c_{o_{DER}}$  Debida a la deriva del patrón desde su calibración.
- $c_A$  Corrección para compensar el efecto del desalineamiento entre la regla y el movimiento de la medidora.
- $c_T$  Corrección asociada a la dilatación térmica diferencial.
- $c_{DE}$  Corrección debida a la división de escala de la regla.
- $c_{o_{DE}}$  Corrección debida a la división de escala de la medidora.

## 6.1. Estimación de incertidumbres

La incertidumbre se estima según lo establecido en los documentos [3] ó [4].

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres a la ecuación (1), la cual utiliza un modelo de correcciones aditivas, en el que





todas las magnitudes de entrada se pueden considerar independientes y con coeficientes de sensibilidad igual a 1, la incertidumbre típica asociada a la magnitud de salida, viene dada por:

$$u_{ej}^2 = u_{dj}^2 + u_{Xoj}^2 + u_{C_A}^2 + u_{C_t}^2 + u_{C_{DE}}^2 + u_{C_{ODE}}^2 \quad (2)$$

con 
$$u_{Xoj}^2 = u_{C_{oj}}^2 + u_{C_{oder}}^2 \quad (3)$$

### 6.1.1. Contribución debida a la Repetibilidad ( $u_{dj}$ )

Como se trata de un equipo básico de metrología dimensional, se realiza una única medición en cada trazo. Para realizar la evaluación tipo A de la incertidumbre se elige un trazo cualquiera y se realiza una repetición de al menos diez medidas en ese trazo, todas ellas desde el origen. Se tomará como contribución debida a la repetibilidad la obtenida en este trazo, suponiendo que todos los trazos, por fabricación, tienen las mismas características.

$$u_{dj} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

El número de grados de libertad es  $n - 1$

### 6.1.2. Contribución debida a la calibración del patrón ( $u_{C_{oj}}$ )

Si en el certificado de calibración de la medidora figura la incertidumbre expandida en el punto de calibración para un factor  $k$ , entonces:

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

En el caso de que en el certificado del patrón, no figure el punto de calibración, o uno muy próximo, se podrá tomar



como incertidumbre la máxima de las indicadas en el certificado, o asignar a la medidora una incertidumbre resultante de aplicar un modelo de corrección global, el cual no es objeto del presente procedimiento.

Si en la incertidumbre expandida del patrón no está contenida la corrección a las indicaciones de la medidora, esta corrección debe aplicarse, o añadirse a la incertidumbre, sumándola linealmente.

En todo caso, cuando se cumple lo indicado en el punto 5.1 (incertidumbre de la medidora inferior a 1/10 de la división de escala de la regla), no es necesario considerar esta componente ya que su contribución tiene un peso muy inferior a la contribución derivada de la resolución.

#### 6.1.3. Contribución debida a la deriva del patrón ( $u_{C_{der}}$ )

Cuando la deriva entre calibraciones del patrón se estime inferior a 1/10 de la división de escala de la regla, no es necesario considerar esta componente. En caso contrario se considerará una distribución rectangular de rango igual a la deriva. El número de grados de libertad es infinito.

#### 6.1.4. Contribución debida al desalineamiento entre la regla y la medidora ( $u_{CA}$ )

Suponiendo un desalineamiento angular máximo  $\theta_{m\acute{a}x}$ , la incertidumbre típica sería:

$$u_{CA} = \frac{\theta_{m\acute{a}x}^2}{2\sqrt{3}} \cdot x_{o_i}$$

Si se cumple lo indicado en el punto 5.2.4 (desalineamiento igual o inferior a 0,1 grados), tanto la corrección como la incertidumbre debida al desalineamiento pueden considerarse nulas.



### 6.1.5. Contribución debida a la dilatación térmica diferencial ( $u_{CT}$ )

Cuando la calibración se realiza en las condiciones que se indican en el punto 5.2.2, se considera alcanzado un nivel de estabilización térmica que no hace necesaria la introducción de correcciones de origen térmico, ni sus contribuciones de incertidumbre.

### 6.1.6. Contribución debida al error de enrase ( $u_{CDE}$ )

Considerando cualquier lectura como la diferencia de indicaciones entre dos enrases sucesivos, podría evaluarse el error de enrase a partir de la resolución “e” de la regla, considerando que el máximo error posible de enrase es  $\pm e/2$ .

$$u_{CDE} = \sqrt{\left(\frac{e}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{e}{2\sqrt{3}}\right)^2} = \frac{e}{\sqrt{6}}$$

El error de enrase podrá evaluarse de forma más real si se realiza un estudio en cada uno de los enrases, por ejemplo haciendo mediciones sucesivas en un solo trazo y evaluando el error de enrase como el máximo valor obtenido menos el mínimo. Denominando “e” a este valor *max-min*, la fórmula anterior seguirá siendo válida, siendo infinito el número de grados de libertad.

### 6.1.7. Contribución debida a la división de escala de la medidora ( $u_{CODE}$ )

Considerando la lectura, según se indica en el punto anterior, como diferencia de indicaciones entre dos enrases sucesivos, teniendo en cuenta la resolución “e<sub>o</sub>” de la medidora y considerando que el máximo error posible debido a la resolución de la medida es  $\pm e_o/2$ .



$$u_{C_{ODE}} = \sqrt{\left(\frac{e_o}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{e_o}{2\sqrt{3}}\right)^2} = \frac{e_o}{\sqrt{6}}$$

El número de grados de libertad es infinito.

Cuando se cumple lo indicado en el punto 5.1 (incertidumbre de la medidora inferior a 1/10 de la división de escala de la regla), esta componente no se considera.

#### 6.1.8. Grados de libertad

En los casos de evaluación tipo B de la incertidumbre, los grados de libertad pueden considerarse infinitos. En la evaluación tipo A los grados de libertad serán  $n - 1$ , siendo  $n$  el número de medidas realizadas sobre el trazo elegido para la evaluación tipo A de la incertidumbre.

Así pues salvo en el caso de la repetibilidad, el resto de contribuciones poseen grados de libertad infinitos.

Los grados de libertad efectivos se obtienen utilizando la fórmula de Welch-Satterthwaite:

$$v(u_{c_j}) = \frac{u_{c_j}^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u^4(x_i)}{v(x_i)}} \quad (4)$$

El valor obtenido de la expresión anterior se redondeará a la baja, al entero más próximo.

#### 6.1.9. Incertidumbre expandida

La expresión de  $U$  asociada a la corrección en cada punto de calibración, queda de la forma:



$$U_j^2 = k^2 \sum u_j^2(c_j) = k^2 \left( \frac{s^2}{n} + u_{C_{o_j}}^2 + \frac{e^2}{6} + \frac{e_o^2}{6} \right) \quad (5)$$

A partir de las contribuciones consideradas, puede construirse la Tabla 1.

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

Magnitud de entrada	Incertidumbre típica	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre $u_{c_j}$
$x_{c_j}$	$\frac{s}{\sqrt{n}}$	normal	1	$\frac{s}{\sqrt{n}}$
$x_{e_j}$	$\frac{e}{\sqrt{6}}$	rectangular	1	$\frac{e}{\sqrt{6}}$
$x_{e_o_j}$	$\frac{e_o}{\sqrt{6}}$	rectangular	1	$\frac{e_o}{\sqrt{6}}$
$x_{g_j}$	$\frac{U_{certif}}{k}$	normal	1	$\frac{U_{certif}}{k}$

Incertidumbre combinada ( $u_c$ )	$u_c = \sqrt{\sum u_j^2(c_j)}$
Incertidumbre Expandida ( $U$ )	$U = k \cdot u_c$

## 6.2. Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos son las correcciones a aplicar en cada punto calibrado para compensar las desviaciones observadas a los valores convencionalmente verdaderos proporcionados por el patrón utilizado (medidora).

$$c_j = d_j + c_{x_{oi}} + c_A + c_T + c_{DE} + c_{o_{DE}} \quad (1)$$



Cada desviación lleva asociada una incertidumbre expandida de calibración  $U$ , obtenida como se indica en el apartado 6.1.

En el certificado de calibración, además de dar las correcciones y la incertidumbre expandida, se especificará el valor del factor de cobertura  $k$  utilizado, para una probabilidad del 95 %.

En función de las desviaciones obtenidas, el instrumento puede ser incluido dentro de las clases de exactitud contempladas por las normas o especificaciones que le fueran de aplicación. El cumplimiento o no con la tolerancia indicada en una norma, deberá comprobarse teniendo en cuenta, además de las desviaciones obtenidas, sus incertidumbres asociadas.

El cliente o laboratorio propietario de la regla calibrada es el responsable de establecer el periodo entre calibraciones, en función del nivel metroológico y uso de la regla.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Procedimiento para la realización de procedimientos de calibración, Grupo de Trabajo MINER-CEM, Ed. 0, 1998.
- [2] Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados, Centro Español de Metrología, 3ª Ed., 2008, 88 págs., NIPO: 706-08-008-4.
- [3] Guía para la expresión de la incertidumbre de medida, versión española 2ª edición, Ministerio de Fomento, Centro Español de Metrología, 2000, Tres Cantos Madrid. NIPO: 165-00-004-0.
- [4] Guía CEA-ENAC-LC/02, Expresión de la Incertidumbre de medida en las calibraciones, Rev. 1, Enero 1998.
- [5] Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional, Centro Español de Metrología, 1ª Ed., 2005, 261 págs., Madrid.
- [6] UNE 82309, Mesas de planitud (parte 1: Acero fundido, mayo-99 y parte 2: Granito, julio-97).



## 8. ANEXO: Ejemplo numérico de aplicación del procedimiento descrito.

Se procede a la calibración de una regla de trazos, de acero, con campo de medida de 1 000 mm y división de escala  $e = 1$  mm.

En la tabla siguiente se incluyen los datos de medición, el tratamiento de los mismos, y los resultados e incertidumbres obtenidos suponiendo que la incertidumbre asociada al error de enrase es la máxima posible.

PUNTO DE CALIBRACIÓN ( $X_{c,j}$ ) (mm)	VALOR DEL PATRÓN ( $X_{o,j}$ ) (mm)	CORRECCIÓN DE CALIBRACIÓN ( $C_j$ ) (mm)
0	0	0
49	48,98	-0,02
101	100,99	-0,01
150	150,01	0,01
199	199,03	0,03
248	248,04	0,04
299	299,00	0,00
350	349,97	-0,03
401	400,95	-0,05
449	448,94	-0,06
502	501,96	-0,04
552	551,96	-0,04
599	598,99	-0,01
648	648,03	0,03
700	700,05	0,05
749	749,05	0,05
801	801,06	0,06
850	850,04	0,04



<b>PUNTO DE CALIBRACIÓN (<math>X_{c,j}</math>) (mm)</b>	<b>VALOR DEL PATRÓN (<math>X_{o,j}</math>) (mm)</b>	<b>CORRECCIÓN DE CALIBRACIÓN (<math>C_j</math>) (mm)</b>
899	899,06	0,06
948	948,07	0,07
1000	1000,05	0,05

La calibración se realiza en una medidora de una coordenada con campo de medida de 1 000 mm, división de escala  $e_o = 0,01$  mm y con una incertidumbre máxima de 0,02 mm, para un factor de cobertura  $k = 2$ .

#### Evaluación de la repetibilidad:

<b>PUNTO DE CALIBRACIÓN (<math>X_{c,j}</math>) (mm)</b>	<b>VALOR DEL PATRÓN (<math>X_{o,j}</math>) (mm)</b>
599	598,99
	598,99
	598,98
	598,99
	598,98
	599,00
	598,99
	598,99
	598,99
	598,98





### Incertidumbre de la corrección en cada punto:

Magnitud de entrada	Incertidumbre típica	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre $u_{c_i}$
$x_{g_j}$	$\frac{s}{\sqrt{n}}$	normal	1	$\frac{0,006}{\sqrt{10}}$
$x_{c_j}$	$\frac{e}{\sqrt{6}}$	rectangular	1	$\frac{1}{\sqrt{6}}$
$x_{o_j}$	$\frac{e_o}{\sqrt{6}}$	rectangular	1	$\frac{0,01}{\sqrt{6}}$
$x_{g_j}$	$\frac{U_{certif}}{k}$	normal	1	$\frac{0,02}{2}$

Incertidumbre combinada ( $u_c$ )	$u_c = \sqrt{\frac{0,006^2}{10} + \frac{1}{6} + \frac{0,01^2}{6} + \frac{0,02^2}{4}} = 0,41$
Incertidumbre Expandida ( $U$ )	$U_j = 0,82 \text{ mm}$

Aplicando la fórmula de Welch-Satterthwaite y teniendo en cuenta que la contribución debida a la repetibilidad es despreciable respecto al resto de componentes se obtiene un número de grados de libertad efectivos muy alto, por lo que el factor de cobertura para una probabilidad del 95 % es  $k = 2$ .

**Nota:** Si se considera el error de enrase máximo puede observarse en la tabla de resultados que la incertidumbre expandida es prácticamente igual a la incertidumbre debida al error de enrase, por lo que según se indica en los puntos 6.1.2 y 6.1.7, estas componentes podrían no considerarse en el presente caso. Podría disminuirse la incertidumbre asociada al error de enrase como se ha indicado en el punto 6.1.6 y, en ese caso, si sería necesario considerar todas las contribuciones como se ha hecho en el ejemplo.

