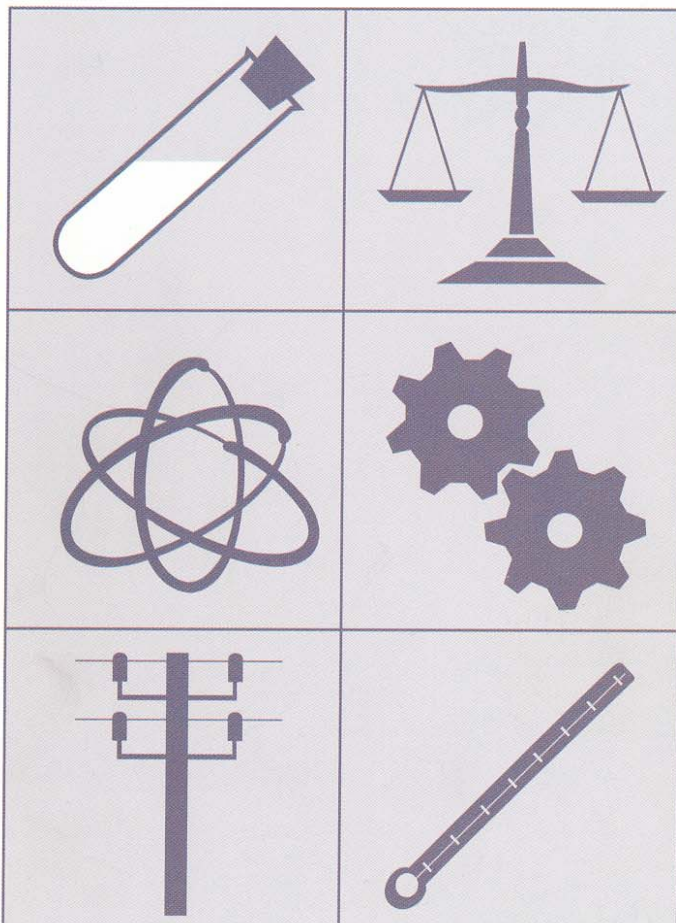


Metrología

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN



PROCEDIMIENTO DI-011 PARA LA CALIBRACIÓN DE FLEXÓMETROS

m 10



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO

CEM

CENTRO ESPAÑOL
DE METROLOGÍA

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



ÍNDICE

	Página
1. OBJETO	4
2. ALCANCE	4
3. DEFINICIONES	4
3.1. Enrasar	4
3.2. Alinear	4
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	7
6.1. Cálculo de incertidumbres	8
6.2. Interpretación de resultados	13
7. REFERENCIAS	14
8. ANEXO	15



1. OBJETO

El presente procedimiento tiene por objeto mostrar un método para la calibración de reglas flexibles de trazos (FLEXÓMETROS), codificadas como D-02.19 según la Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional (ref. [5]).

2. ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a reglas flexibles de trazos (FLEXÓMETROS), con longitud de hasta 30 m y división de escala entre 1 mm y 10 mm, mediante medidora de coordenadas con 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

Las Reglas flexibles de trazos son instrumentos portátiles para medir longitudes con baja precisión y, como su propio nombre indica, son reglas flexibles, metálicas o de material plástico muy resistente, de pequeño espesor, con una escala grabada en uno o ambos bordes, que en algunos casos suelen recogerse dentro de un estuche dotado de un sistema enrollador.



En muchos casos el origen de la escala de trazos consiste en algún tope o anilla para facilitar su contacto o sujeción, lo cual no afecta al proceso de calibración que se describe, en el que el engrase sobre cero deberá entenderse como engrase sobre el borde del tope o anilla que lo materializa, en lugar de sobre un trazo origen.

El presente procedimiento se basa en la medición de los trazos de la regla flexible o flexómetro con una medidora de coordenadas con microscopio de engrase. También podría utilizarse un banco de calibración con un sistema láser y el correspondiente microscopio de engrase, 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 o banco de calibración de una coordenada horizontal, que tenga posibilidad de serle acoplado un microscopio de engrase 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 flexible. Asimismo, para el conocimiento de la temperatura, es recomendable contar con un termómetro de resolución igual o mejor de 0,5 °C.



5.2. Operaciones previas

5.2.1. Proceder a la calibración de una regla flexible 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 dentro de $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y la variación de temperatura durante la calibración no superará 2 °C .

5.2.3. Se procederá a una limpieza de la regla flexible: se realizará una inspección visual para comprobar su buen estado, especialmente que no presenta dobleces y rasgaduras, y que la legibilidad de los trazos de la escala es adecuada, dejándola estabilizar en la zona de calibración al menos durante 2 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 ajustando la regla flexible respecto a la dirección del movimiento de la medidora, hasta conseguir que la desalineación sea igual o menor de $0,2$ grados.

5.3. Proceso de calibración.

5.3.1. La calibración se realizará midiendo una única vez cada trazo: siempre en sentido creciente en un número de puntos n_c acordado con el cliente según sus necesidades, o bien actuando de forma que para reglas flexibles de hasta 10 m se calibren al menos 10 puntos, y en reglas flexibles de más de 10 m, al menos un punto por metro.



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

Para las reglas flexibles con campo de medida superior al alcance de la medidora utilizada, la calibración se realizará por tramos, considerando como punto inicial de cada tramo el punto final del tramo anterior.

5.4. Toma y tratamiento de datos

5.4.1. Registrar los valores enrasados: se realiza sobre la regla flexible y los valores indicados por la medidora.

5.4.2. Se determinan las desviaciones: calculándose en cada punto de calibración como la diferencia entre los valores indicados por el patrón (medidora) en el punto j , x_{oj} y los valores enrasados sobre la regla flexible x_{cj} .

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

6. RESULTADOS

El objeto de la calibración es determinar como magnitudes de salida las correcciones de calibración y las incertidumbres asociadas 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 flexible
- $C_{o_{DE}}$ 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:

$$u_{c_j}^2 = u_{d_j}^2 + u_{x_{oj}}^2 + u_{C_A}^2 + u_{C_T}^2 + u_{C_{DE}}^2 + u_{C_{o_{DE}}}^2$$

con
$$u_{x_{oj}}^2 = u_{C_{oj}}^2 + u_{C_{oder}}^2$$

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 flexible), 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_{Coder})

Cuando la deriva entre calibraciones del patrón se estime inferior a 1/10 de la división de escala de la regla flexible, 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 flexible y la medidora (u_{CA})

Suponiendo un desalineamiento angular máximo $\theta_{\text{máx}}$, la incertidumbre típica sería:

$$u_{\text{CA}} = \frac{\theta_{\text{máx}}^2}{2\sqrt{3}} \cdot x_{o_i}$$

Si se cumple lo indicado en el punto 5.2.4 (desalineamiento igual o inferior a 0,2 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 flexible, considerando que el máximo error posible cometido debido al enrase es $\pm e/2$.



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

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_o ” 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:

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

El valor obtenido de la expresión anterior se redondeará a la baja, al número 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

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

En el caso de que el campo de medida de la regla flexible sea mayor que el de la medidora utilizada y la calibración se haga por tramos, debido a que en cada tramo el punto que se toma como inicio de la medida, viene afectado de la incertidumbre de los tramos anteriores, la incertidumbre expandida vendrá dada por la expresión:

$$U_j^2 = N.k^2 \left(\frac{s^2}{n} + u_{c_{oj}} + \frac{e^2}{6} + \frac{e_o}{6} \right)$$

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 $u_j c_j$
x_{gj}	$\frac{s}{\sqrt{n}}$	normal	1	$\frac{s}{\sqrt{n}}$
x_{oj}	$\frac{e}{\sqrt{6}}$	Rectangular	1	$\frac{e}{\sqrt{6}}$
x_{oj}	$\frac{e_o}{\sqrt{6}}$	Rectangular	1	$\frac{e_o}{\sqrt{6}}$
x_{oj}	$\frac{U_{certif}}{k}$	Normal	1	$\frac{U_{certif}}{k}$

Incertidumbre combinada (u_c)	$u_c = \sqrt{\sum u_j^2 (c_j)^2}$
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).

$$c_j = d_j + c_{x_{oj}} + c_A + c_T + c_{DE} + c_{o_{DE}}$$

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 flexible calibrada es el responsable de establecer el periodo entre calibraciones, en función del nivel metrológico y su intensidad de uso.

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] Expresión de la incertidumbre de medida en las calibraciones. CEA-ENAC-LC/02, Rev. 1, Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), Enero 1998.
- [5] Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional, Centro Español de Metrología, 1ª Ed., 2005, 261 págs., Madrid.



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

Se procede a la calibración de un flexómetro de fleje de acero con campo de medida de 10 000 mm y división de escala $e = 1$ mm.

La calibración se realiza en una medidora de una coordenada con campo de medida de 1000 mm, división de escala $e_0 = 0,01$ mm e incertidumbre máxima para un factor de cobertura $k = 2$ de 0,02 mm.

En la tabla siguiente se incluyen los datos de medición, el tratamiento de los mismos y los resultados e incertidumbres obtenidos.

PUNTO DE CALIBRACION (X_j) (mm)	VALOR DEL PATRON (X_{0j}) (mm)	CORRECCION DE CALIBRACION (C_j) (mm)
0	0	0
1000	999,63	-0,37
2000	1999,74	-0,26
3000	2999,40	-0,60
4000	3999,50	-0,50
5000	4999,13	-0,87
6000	5998,75	-1,25
7000	6998,76	-1,24
8000	7998,43	-1,57
9000	8998,48	-1,52
10000	9998,08	-1,92



Evaluación de la repetibilidad:

PUNTO DE CALIBRACIÓN (X_{cj}) (mm)	VALOR DEL PATRÓN (X_{qj}) (mm)
5000	4999,99
	4999,99
	4999,98
	4999,99
	4999,98
	5000,00
	4999,99
	4999,99
	4999,99
	4999,98

INCERTIDUMBRE DE LA CORRECCIÓN EN CADA PUNTO

Magnitud de entrada	Incertidumbre típica	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre u_{f_c}
x_{cj}	$\frac{s}{\sqrt{n}}$	normal	1	$\frac{0,006}{\sqrt{10}}$
x_{cj}	$\frac{e}{\sqrt{6}}$	Rectangular	1	$\frac{1}{\sqrt{6}}$
x_{oj}	$\frac{e_o}{\sqrt{6}}$	Rectangular	1	$\frac{0,01}{\sqrt{6}}$
x_{oj}	$\frac{U_{certif}}{k}$	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 $k=2$.

Considerando que debido a la longitud de la regla y al campo de medida de la medidora, la calibración se realiza por tramos, la incertidumbre expandida para toda la longitud será

$$U_L = 0,82 \sqrt{10} = 2,59 \text{ mm}$$

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.

