

OBJETO

El objeto del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es definir la pauta utilizada en el software CALIBRO para la calibración de dinamómetros mecánicos y electrónicos que se deriva de los procesos de calibración M-003, de forma que permitan obtener resultados trazables y homogéneos.

CAMPO DE APLICACIÓN

Los dinamómetros considerados tendrán como sensor un elemento que sufra deformaciones elásticas que se podrán medir por medios mecánicos o electrónicos, según el tipo, directamente con una escala graduada en unidades de fuerza o a través de una curva o ecuación de funcionamiento, que convierta las indicaciones del sensor en medidas de fuerza. Este tipo de instrumentos podrán trabajar a tracción o compresión o en ambos modos indistintamente.

En los dinamómetros mecánicos, el elemento sensor y el lector estarán integrados físicamente en el cuerpo del instrumento.

Los dinamómetros electrónicos, en algunos casos podrán tener como lector de las deformaciones elásticas del sensor, un dispositivo electrónico, que si bien es independiente con unas características metroológicas propias, se considerará como parte integrante del dinamómetro.

En este procedimiento también se consideran los instrumentos electrónicos que tienen como sensor los elementos conocidos como células de carga, cuya principal particularidad es su uso con salida en unidades de masa, pero que se destinen a la medida de la fuerza como dinamómetros, para lo cual en su calibración hay que tener en cuenta el valor de la aceleración de la gravedad.

Este procedimiento se puede utilizar para la calibración de instrumentos con características metroológicas tales que se puedan agrupar en la clase 1 o inferiores según EN 10002-3.

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.

Antes de iniciar la calibración de un dinamómetro, debe realizarse una inspección previa del estado general del instrumento, comprobando el buen estado de los medios de transmisión de la fuerza propios del instrumento, que aseguren una correcta aplicación de la fuerza a medir.

Será conveniente aplicar previamente al instrumento, tres veces la fuerza correspondiente al alcance de medida.

La calibración debe de efectuarse en una sala de metrología con temperatura controlada en $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

La calibración se efectúa midiendo simultáneamente el instrumento a calibrar y un instrumento utilizado como patrón, y una fuerza generada por un elemento auxiliar.

Para la generación de la fuerza a medir se utilizará un elemento auxiliar, del tipo con denominación MÁQUINA GENERADORA DE FUERZA que tenga las siguientes características:

- deberá permitir que se consiga una estabilidad de la fuerza generada tal que una vez alcanzado un punto de calibración mantenga la indicación del instrumento patrón sin ninguna variación, y que posibilite alcanzar el mismo punto en repeticiones.
- deberá disponer de medios de sujeción tanto para el instrumento patrón como para el instrumento a calibrar de forma que se asegure una aplicación en serie de la fuerza a medir, con la debida axialidad, posibilitando el trabajo del instrumento a calibrar tanto a tracción como a compresión si esto procede.
- su estructura deberá tener una rigidez tal que en la generación de la fuerza no se produzcan perturbaciones que puedan influir en la medida.
- este tipo de máquinas son equipos especiales para la calibración de dinamómetros con un elemento de transmisión de la fuerza entre los dos dinamómetros del tipo de estribo autoalineable y una rigidez estructural similar a las máquinas patrón de fuerza por suspensión de pesos muertos, con la única diferencia de que la generación no se realiza por el peso muerto patrón sino por dispositivos mecánicos, eléctricos o hidráulicos. No es recomendable utilizar una máquina de ensayos por no poder alcanzar con ellas las características mencionadas, lo que lleva a una notable degradación de la incertidumbre del dinamómetro a calibrar respecto a la del patrón, cuando la relación entre ambas ya está muy ajustada.

La incertidumbre del instrumento utilizado como patrón será al menos 3 veces menor que la incertidumbre del instrumento a calibrar, esperada según los resultados de una calibración anterior.

En el caso en el que sea la primera calibración del instrumento a calibrar la relación indicada en el punto anterior se establecerá con la incertidumbre esperada deducida de indicaciones del fabricante o la que se estime como la mínima necesaria para la función del instrumento. Si no existe imposición alguna para la incertidumbre del instrumento a calibrar, la relación se podrá establecer refiriéndose a la división de escala, o refiriéndose al error relativo máximo de repetibilidad del instrumento a calibrar según EN 10002/3, en función de la clase esperada. Cuando se considere la división de escala y esta se compare con una incertidumbre del patrón expresada en forma relativa, habrá que referirla al alcance o al punto de calibración más bajo en función de que la incertidumbre sea relativa respecto del alcance o respecto de toda medida, respectivamente..

Si para el instrumento patrón no se dispone de un valor de incertidumbre pero si se dispone de los datos relativos a la incertidumbre del patrón empleado en su calibración, y las medidas obtenidas en cada punto de calibración, se realizará la estimación de su incertidumbre mediante el método que se expone en el apartado siguiente de este proceso, en todos sus modos de empleo, tracción y/o compresión, y para todos sus tipos de ecuación característica de empleo cuando éstas se usan por no disponer de indicaciones directas en unidades de fuerza.

Si además de no disponer para el instrumento patrón de un valor de su incertidumbre, tampoco se tiene indicación de las medidas de calibración, pero si de una clase de precisión según una norma, estas medidas se deberían solicitar del

laboratorio que realizó la calibración para aplicar lo dicho en el punto anterior 4.5, no siendo recomendable ni aceptable salvo con justificaciones muy especiales, el recurrir a soluciones substitutivas como podría ser asimilar los valores máximos de los errores relativos establecidos en la norma para la clase correspondiente a desviaciones típicas y correcciones de calibración para componerlas cuadráticamente según la expresión del apartado siguiente. Al igual que en el punto anterior se realizará la estimación de la incertidumbre en todos sus modos de empleo, y para todos sus tipos de ecuación característica.

La calibración se realizará en un número de puntos de la escala del instrumento a calibrar entre 5 y 10, siendo al menos 8 cuando haya que determinar ecuaciones de ajuste, que se encuentren equidistantes en su campo.

Como caso general, el punto de calibración se fijará por la indicación del instrumento patrón, deteniéndose la generalización de la fuerza cuando se alcance para mantenerse estabilizada, para anotar la lectura indicada por el instrumento a calibrar. Esto es necesario cuando hay que obtener una ecuación de ajuste, cuando es el patrón el que tiene que trabajar con ecuación de ajuste que da para una fuerza determinada la indicación en su unidad diferente o cuando se quiere asignar una clase según la norma EN 10002/3. Cuando el instrumento a calibrar y el patrón indican unidades de fuerza se podría fijar el punto de calibración con el instrumento a calibrar anotando la lectura del instrumento patrón.

Los puntos de calibración se alcanzarán en series crecientes y decrecientes.

Al principio de cada serie creciente se ajustará el cero y al descargar el instrumento al final de una serie creciente o decreciente se anotará la lectura del mismo.

El número de series será en total de al menos 6, es decir para cada punto de calibración se tendrán al menos 6 reiteraciones. Para poder asignar clase según la norma EN 10002/3, entre las series tendrá que haber un mínimo 2 series crecientes seguidas sin alterar el instrumento y 2 parejas de series creciente - decrecientes.

Después de cada 2 series de cargas el instrumento a calibrar se girará alrededor de su eje al menos en tres posiciones uniformemente repartidas sobre 360° (p.e. 0°, 120° y 240°, y si no fuera posible 0°, 180° y 360°).

Esta calibración se realizará para cada uno de los modos de trabajo del instrumento a calibrar, en tracción, en compresión, o en el que proceda solamente.

Las indicaciones del instrumento a calibrar y del patrón podrán disponerse en tablas, similares a las que se utilizan en el ejemplo expuesto en este proceso.

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

El método descrito en este proceso de calibración corresponde al método de calibración de un instrumento de medidas absolutas con campo de medida continuo, mediante la medida simultánea con otro instrumento que se considera como patrón, siendo posible repetir el mismo punto de calibración, que se fija con el instrumento patrón.

A continuación se describen los parámetros que hay que determinar para cada modo de trabajo (tracción y/o compresión) a partir de las medidas obtenidas en la calibración para la obtención de los resultados.

Se obtiene la media en cada punto de calibración para las N_c indicaciones del instrumento a calibrar d_{cij}

$$\bar{d}_{ci} = \frac{1}{N_c} \sum_{j=1}^{N_c} d_{cij}$$

Cuando las indicaciones del instrumento no son en unidades de fuerza, es necesario determinar una ecuación que permita obtener valores de fuerza para esas indicaciones del instrumento, que denominaremos ecuación de funcionamiento directo, que permite el uso normal del dinamómetro como instrumento de medida de fuerza y que será una función F del tipo:

$$Y = F(X)$$

Para obtener esta ecuación, se realiza un ajuste lineal, cuadrático o cúbico, sobre las parejas de puntos X, Y, formadas por los valores de las medias \bar{d}_{ci} como las X y los valores del patrón X_{oi} como las Y en todos los puntos de calibración.

Con esta curva se calculan los valores ajustados X_{cij} para cada una de las medidas obtenidas en cada uno de los puntos de calibración.

$$X_{cij} = F(d_{cij})$$

Se obtiene la media en cada punto de calibración para las indicaciones ajustadas del instrumento a calibrar X_{cij}

$$\bar{x}_{ci} = \frac{1}{N_c} \sum_{j=1}^{N_c} X_{cij}$$

Se obtiene la desviación típica en cada punto de calibración para las indicaciones del instrumento a calibrar.

$$S_{ci} = \sqrt{\frac{1}{N_c - 1} \sum_{j=1}^{N_c} (X_{cij} - \bar{x}_{ci})^2}$$

donde $X_{cij} = d_{cij}$ en el caso de que el dinamómetro proporcione indicaciones directas en unidades de fuerza sin necesidad de recurrir al empleo de una ecuación de funcionamiento.

Se obtiene la corrección de calibración en cada punto, respecto de la indicación del patrón, valor nominal x_{oi}

$$\Delta \bar{x}_{ci} = x_{oi} - \bar{x}_{ci}$$

Se obtiene la incertidumbre de medida del instrumento a calibrar en cada punto de calibración para factor de incertidumbre $k=2$ y $n=1$ medida prevista en la utilización del instrumento, teniendo en cuenta la incertidumbre del patrón en cada punto I_{oi} certificada para un $k=2$

$$I_i = \sqrt{I_{oi}^2 + 4 \cdot w^2 \cdot s_{ci}^2 \cdot \left(\frac{1}{N_c} + 1\right) + 0,44 \cdot \Delta x_{ci}^2}$$

con w que es un factor corrector de s_{ci} cuando $N_c < 10$ según la tabla siguiente del documento 19 de 1990 de WECC: "Guidelines for the Expression of Uncertainty of Measurement in Calibrations "

n_c	2	3	4	5	6 y 7	8 y 9	≥ 10
w	7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,2	1

Se le asigna una incertidumbre para toda su escala, como la máxima que se obtenga en cualquiera de los puntos de calibración

$$I = (I_i) \text{ máx.}$$

que se puede expresar como relativa respecto del alcance C del instrumento, en %

$$100 \cdot \frac{I}{C}$$

como relativa respecto del nominal x_i en cada punto, en %

$$(I)_{rel} = 100 \cdot \left[\frac{I_i}{x_i} \right]_{max}$$

www.gesdocal.es

Cuando un dinamómetro que no indique las medidas en unidades de fuerza tenga que trabajar con una ecuación de funcionamiento que dé la indicación correspondiente a una fuerza determinada, que se denominará ecuación de funcionamiento inversa, ya que con esta ecuación sola no sería posible de forma directa medir fuerzas aplicadas al instrumento, pero que es la que se emplea en la clasificación de dinamómetros según la norma EN 10002/3, y que además es la inversa de la obtenida en el apartado 5.2, será necesario determinar una función G del tipo:

$$Y = G(X)$$

Para obtener esta ecuación, se realiza un ajuste inverso al realizado en el apartado 5.2., del tipo lineal, cuadrático o cúbico, sobre las parejas de puntos X, Y formadas por los valores del patrón x_{oi} como las X y los valores de las medias d_{ci} como las Y en todos los puntos de calibración, y utilizando todas las medidas no como la de la norma EN en la que se emplean solo las de determinadas series, con la que se obtendrá para cada punto de calibración un valor ajustado d_{ai}

$$d_{ai} = G(x_{oi})$$

Se obtiene la desviación del ajuste respecto de la media en cada punto de calibración para las indicaciones del instrumento a calibrar d_{ci} obtenida en el apartado 5.1.

$$q_i = \frac{\bar{d}_{ci} - d_{ai}}{\bar{d}_{ci}}$$

Se obtiene la desviación típica de los valores anteriores en los que se ha determinado la media, según la expresión:

$$s_{dci} = \sqrt{\frac{1}{N_c - 1} \cdot \sum_{j=1}^{N_c} (d_{cij} - \bar{d}_{ci})^2}$$

Se obtiene la incertidumbre relativa de calibración cuando se usa la ecuación inversa

$$(I)_{rel} = \sqrt{\frac{I_{oi}^2}{x_{oi}^2} + 4 \cdot w^2 \cdot \frac{s_{dci}^2}{d_{ci}^2} \cdot \left(\frac{1}{N_c} + 1\right) + 0,44 \cdot q_{ri}^2}$$

Se le asigna una incertidumbre para toda su escala, como la máxima que se obtenga en cualquiera de los puntos de calibración.

$$I_{rel} = (I_i)_{max}$$

que se puede expresar en %

$$100 \cdot I_{rel}$$

Todos los parámetros de los puntos 5.1 a 5.7 habría que volver a determinarlos para el otro modo de trabajo compresión o tracción si procede para el instrumento, empleando sus datos correspondientes.

www.gedocal.es

CALIDADES.

Se realiza la asignación de clase según EN 10002/3, utilizando los valores obtenidos en la calibración como indicaciones del dinamómetro con los que se determina los siguientes parámetros en cada punto de calibración.

Errores relativos de repetibilidad.

$$b_i = \frac{(d_{cicg})_{max} - (d_{cicg})_{min}}{(\bar{d}_{ci})_{cg}} \cdot 100$$

con

$$(\bar{d}_{ci})_{cg} = \frac{1}{N_{cg}} \cdot \sum_{cg=1}^{N_{cg}} d_{cicg}$$

donde el subíndice cg de los valores indica que se consideran solo las series crecientes en las que se ha producido un cambio en la posición del dinamómetro a calibrar mediante un giro.

Y

$$b'_i = \frac{(d_{cig})_{max} - (d_{cig})_{min}}{(\bar{d}_{ci})_{sg}} \cdot 100$$

con

$$(\bar{d}_{ci})_{sg} = \frac{1}{N_{sg}} \cdot \sum_{sg=1}^{N_{sg}} d_{cig}$$

donde el subíndice sg de los valores indica que se consideran solo las series crecientes en las que no se ha producido alteración de la posición del dinamómetro a calibrar.

Error relativo de interpolación.

$$f_{ci} = \frac{(\bar{d}_{ci})_{cg} - d_{ai}}{d_{ai}} \cdot 100$$

En el cero se determina el error relativo de cero, como la diferencia respecto de cero en las lecturas para la fuerza que queda en la descarga después de cada serie de medidas respecto del alcance máximo C del instrumento en %.

$$f_o = \frac{d_{od}}{C} \cdot 100$$

donde el subíndice od indica que se consideran solo las series al final de las cuales se ha producido una descarga total del dinamómetro.

Error relativo de reversibilidad.

$$u_i = \sum_{cd=1}^{N_{cd}} \frac{X_{i,cd+1} - X_{i,cd}}{X_{i,cd}} \cdot \frac{100}{N_{cd}}$$

donde el subíndice cd indica que se consideran solo las series que forman parte de una pareja creciente - decreciente.

Con estos valores se realizará la asignación de clase de precisión, en función de que los máximos de los valores obtenidos con el dinamómetro para los errores relativos b , b' , f_c , f_o y u no superen los límites según la norma EN 10002/3 indicados para cada clase en las líneas del cuadro siguiente.

Clase	Errores relativos, %				
	repetibilidad		interpolación	cero	reversibilidad
	b	b'	f_c	f_o	u
00	0,05	0,025	± 0,025	± 0,012	0,07
0,5	0,10	0,050	± 0,050	± 0,025	0,15
1	0,20	0,100	± 0,100	± 0,050	0,30
2	0,40	0,200	± 0,200	± 0,100	0,50



www.gesdocal.es



Procedimiento de calibración de dinamómetros mecánicos y electrónicos 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.