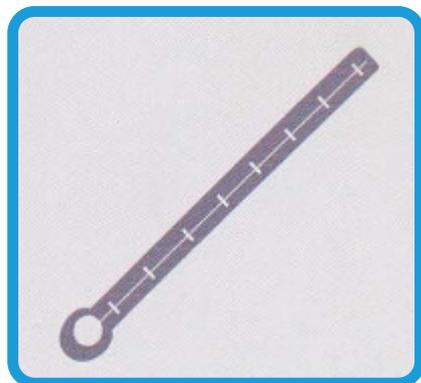
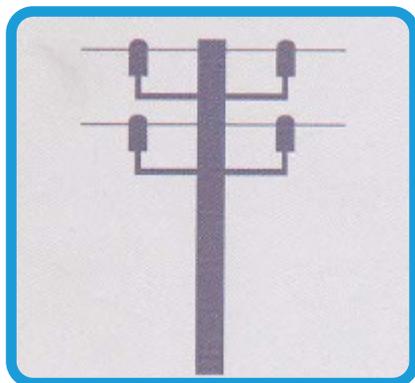
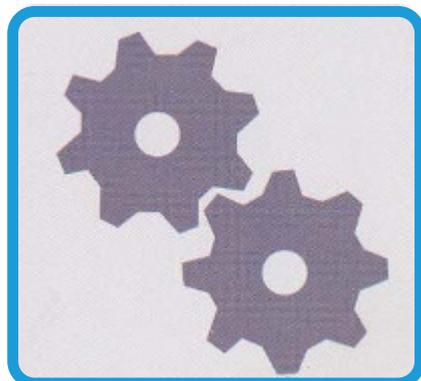
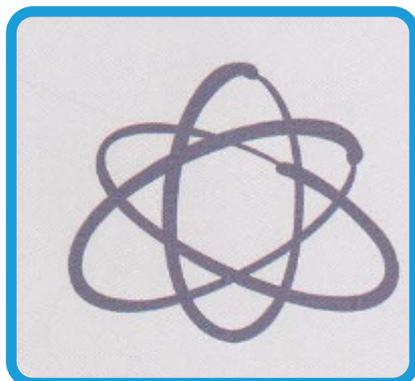
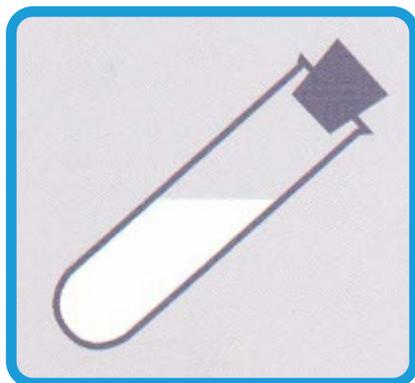


# Metrología



PROCEDIMIENTO PARA LA  
CALIBRACIÓN DE HERRAMIENTAS  
DINAMOMÉTRICAS

**m** 19

# PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE HERRAMIENTAS DINAMOMÉTRICAS

La presente edición de este procedimiento se emite exclusivamente en formato digital y puede descargarse gratuitamente de nuestra página web ([www.cem.es](http://www.cem.es)).

El procedimiento ha sido revisado, corregido y actualizado, respecto a la edición digital anterior.

Los procedimientos editados por el CEM presentan modelos de calibración, en línea con documentos clave universales como son el Sistema Internacional de unidades (SI), el Vocabulario internacional de metrología (VIM) o la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM). Como modelos que son, los usuarios de los mismos pueden, bajo su responsabilidad, modificarlos para adecuarlos a sus necesidades específicas (instrumentación, condiciones ambientales, etc.). En tal caso, siempre deberá primar el sentido crítico y la ética profesional.

El CEM no acepta ninguna responsabilidad derivada de la interpretación y/o uso de este procedimiento.

El CEM no mantiene correspondencia sobre el contenido de los procedimientos.

## ÍNDICE

	Página
1. OBJETO.....	3
2. ALCANCE .....	3
3. DEFINICIONES .....	3
4. GENERALIDADES .....	3
4.1 Introducción teórica .....	3
4.2 Símbolos y abreviaturas .....	4
5. DESCRIPCIÓN .....	5
5.1. Equipos materiales .....	5
5.2. Operaciones previas .....	6
5.3. Proceso de calibración/ensayo.....	6
5.4. Toma y tratamiento de datos .....	7
6. RESULTADOS.....	10
6.1. Interpretación de resultados.....	10
6.2. Incertidumbres .....	11
7. REFERENCIAS .....	13

## 1. OBJETO

El presente procedimiento tiene por finalidad la calibración de herramientas dinamométricas de lectura directa.

## 2. ALCANCE

Este procedimiento es de aplicación a las herramientas dinamométricas de lectura directa tipo I (clases A, B, C, D y E) según la norma UNE-EN ISO 6789 [2].

## 3. DEFINICIONES

A continuación se definen los términos que se manejan en este procedimiento:

### Máquinas patrón de par

Se les denomina de carga directa cuando generan el par de calibración por la acción directa de las masas suspendidas en el campo de la gravedad, sobre un brazo de palanca de longitud conocida. Las de comparación generan el par con un motor-reductor y comparan las señales de salida de un transductor patrón de par con la del instrumento a calibrar.

### Par de torsión o par de apriete

Es el producto de una fuerza tangencial por la distancia entre su punto de aplicación y su centro de rotación. Su unidad en el sistema internacional de unidades (SI) es el N·m.

### Deformación

Para este procedimiento, se define como la diferencia entre una lectura aplicando par y la lectura sin aplicar par. La medida de la deformación del elemento de carga del transductor se puede hacer por medios mecánicos, eléctricos, ópticos u otros, con una exactitud y estabilidad suficientes.

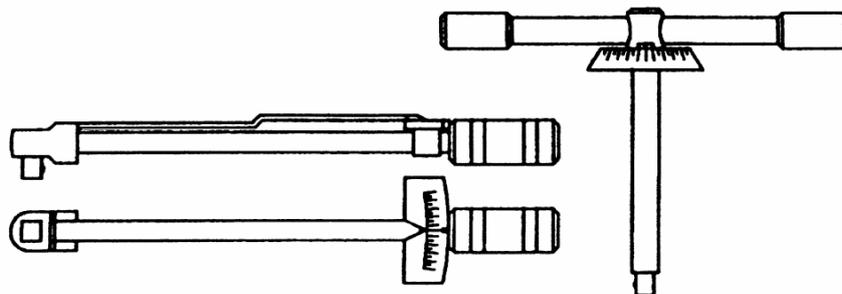
### Herramientas dinamométricas de lectura directa

Son instrumentos manuales de aplicación y lectura directa del par de torsión aplicado.

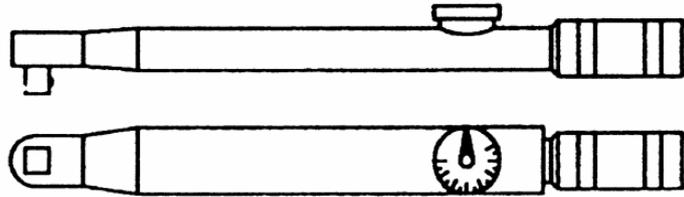
## 4. GENERALIDADES

### 4.1 Introducción teórica

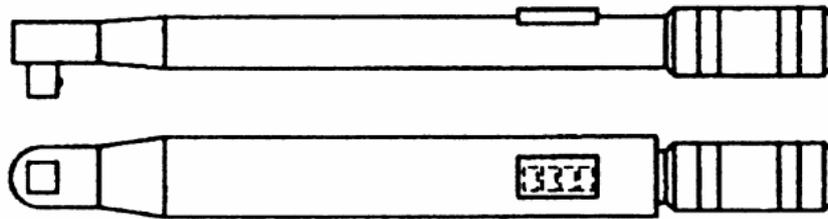
Los principales tipos de herramientas dinamométricas de lectura directa que son objeto del presente procedimiento se pueden dividir en:



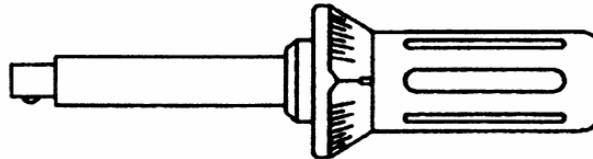
Clase A: llave dinamométrica de barra a torsión o flexión



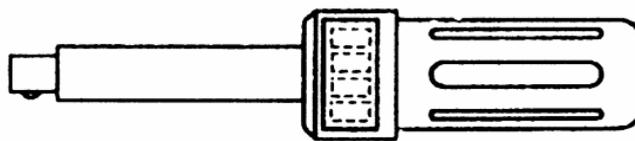
Clase B: llave dinamométrica de caja rígida con escala graduada, dial o visor



Clase C: llave dinamométrica de caja rígida e indicador electrónico de medida



Clase D: destornillador dinamométrico con escala graduada, dial o visor



Clase E: destornillador dinamométrico con indicador electrónico de medida

#### 4.2 Símbolos y abreviaturas

La simbología utilizada en este procedimiento es la siguiente:

Símbolos	Designación	Unidades
$M_E$	Máximo valor de par de torsión del patrón en la calibración	N·m
$M_i$	Par de torsión aplicado del patrón a la carga $i$	N·m
$x_{ji}$	Deformación en la medición $j$ a la carga $i$	N·m

Símbolos	Designación	Unidades
$x_{j0}$	Indicación en la medición $j$ a la carga 0	N·m
$x_j$	Indicación en la medición $j$ a carga $i$	N·m
$\bar{x}_i$	Media de las indicaciones a la carga $i$	N·m
$b'_i$	Error de repetibilidad a la carga $i$	N·m
$b_{Li}$	Error de variación de la longitud del brazo a la carga $i$	N·m
$b_i$	Error de reproducibilidad a la carga $i$	N·m
$A_{sji}$	Desviación de la deformación $j$ a la carga $i$	N·m
$\Delta\varphi_i$	Variación de la aplicación de fuerza a la carga $i$	N·m
$\Delta\gamma_i$	Variación de posición de montaje a la carga $i$	N·m
$\delta x_j$	Contribución a la incertidumbre debida a la resolución en la lectura de $x_j$	N·m
$\delta x_{j0}$	Contribución a la incertidumbre debida a la resolución en la lectura de $x_{j0}$	N·m
$\delta x_{b_L}$	Contribución a la incertidumbre debida a la variación de la longitud del brazo	N·m
$\delta x_b$	Contribución a la incertidumbre debida a la reproducibilidad	N·m
$\delta x_{b_r}$	Contribución a la incertidumbre debida a la repetibilidad	N·m
$\delta x_{\Delta\varphi}$	Contribución a la incertidumbre debida a la variación de aplicación de fuerza	N·m
$\delta x_{\Delta\gamma}$	Contribución a la incertidumbre debida a la variación de la posición de montaje	N·m
$\delta x_{icm}$	Contribución a la incertidumbre debida a la máquina generadora de par de torsión con el patrón, incluida la deriva.	N·m
$i$	Índice de cargas	1
$j$	Índice de mediciones	1
$n$	Número de mediciones a cada carga	1
$u(x)$	Incertidumbre típica de $x$	N·m
$U$	Incertidumbre expandida	N·m
$W$	Incertidumbre relativa expandida	%
$k$	Factor de cobertura	1

## 5. DESCRIPCIÓN

### 5.1 Equipos y materiales

#### Instrumentos de medida

- Máquina patrón de par.
- Sonda de temperatura Pt-100 o similar, colocada en la proximidad de las máquinas

#### Equipos auxiliares

Se dispondrá de un juego de adaptadores y conexiones para permitir acoplar los patrones y herramientas dinamométricas a calibrar. Los mismos se fabricarán de acuerdo a la capacidad máxima de par de torsión de la herramienta, siendo su tamaño normalizado [2] (ver tabla 1).

Tabla 1: Acopladores cuadrados

Máx. valor de par de torsión /N·m	Acoplamientos cuadrados /mm
30	6,3
135	10
340	12,5
1000	20
2100	25

## 5.2 Operaciones previas

### Comprobación del estado del equipo

a) Antes de iniciar la calibración se debe comprobar que las herramientas a calibrar estén perfectamente identificadas: número de serie, marca, modelo, cables de conexión, capacidad nominal de las llaves, sentido aplicación del par de torsión, etc. En caso de que no exista identificación alguna, se procederá a la identificación de la herramienta de la mejor forma posible (única e indeleble), de tal modo que no exista duda alguna en cuanto a la correspondencia entre la herramienta calibrada y el certificado emitido.

b) Se controlará si existen golpes u otros daños similares en las herramientas a calibrar, así como la legibilidad de las divisiones de las escalas de los indicadores analógicos. Asimismo, se comprobará el sentido de trabajo de las herramientas dinamométricas y el correcto funcionamiento de dispositivos tales como blocajes, fiel de arrastre en dial, etc.

c) Los patrones, herramientas dinamométricas, así como el resto de piezas adyacentes a ellos, deben estar diseñados para soportar pares de torsión en sentido horario, anti-horario o ambos, según su construcción, sin influencias significativas de momentos flectores.

### Acondicionamiento del equipo

a) La calibración debe ser realizada con la sala metrológicamente acondicionada a temperatura estable y comprendida entre 18 °C y 28 °C permitiéndose una variación máxima de 1 °C, durante la realización de la misma.

b) Las herramientas dinamométricas y los dispositivos indicadores deberán permanecer al menos 12 horas en el laboratorio de par de torsión, para que adquieran la temperatura de la sala. En el caso de herramientas eléctricas deberán permanecer al menos 30 minutos conectadas en tensión y encendidas para su estabilización (siempre que sea posible).

c) Se seleccionará el patrón de par de torsión a utilizar tratando siempre que el par de torsión máximo en ambos instrumentos sea lo más similar posible.

## 5.3 Proceso de calibración/ensayo

a) Se colocará la herramienta dinamométrica lo más paralela posible al brazo de palanca de la máquina de par de torsión, verificando que la aplicación de la carga coincida con la marca especificada por el

fabricante, si no existe marca se aplicará en el centro del maneral de la herramienta o la indicada por el cliente.

b) Se comprobará el ajuste a cero y se registrará dicho valor. Si es un indicador analógico se realizará la lectura de forma perpendicular a la escala.

c) Se aplicarán tres precargas a la capacidad máxima de la misma, en la dirección en la que se vaya a realizar la calibración. La duración de cada precarga será aproximadamente de 30 s y posteriormente se tomará la lectura.

d) Para obtener cada uno de los puntos de calibración, los valores de par de torsión de referencia aplicados serán siempre de forma creciente no monótona, es decir, pasando siempre por el valor de cero antes de aplicar el siguiente valor de par de torsión de referencia.

e) Las series de medidas se realizarán en sentido horario; anti-horario o ambos. En las descripciones siguientes se considerará solamente en un sentido, debiendo procederse análogamente en el otro sentido si corresponde.

f) Los puntos de calibración, en cada sentido, que se realizarán para las herramientas dinamométricas sin incluir el cero serán al menos 3 y  $M_i$  será preferiblemente el 20 %, el 60 % y el 100 % de  $M_E$ .

g) Se realizarán cinco reiteraciones consecutivas para cada uno de los puntos seleccionados.

h) El intervalo de tiempo entre dos puntos de calibración del mismo valor tiene que ser lo más similar posible. La aproximación al valor del punto de calibración se realizará sin brusquedades. Si se sobrepasa el valor de consigna más de un 1 % de dicho valor, debe reiniciarse la medición.

i) En el caso de llaves dinamométricas clases A, B y C, haremos una secuencia de toma de datos variando la longitud del punto de aplicación de la carga, la distancia será la máxima que nos permita el maneral de la llave, y se hará una medición por cada carga.

j) Posteriormente haremos una secuencia de calibración variando la posición angular a 90° y aplicándose la carga en el mismo punto que al comenzar la calibración, se hará una medición por cada carga.

#### 5.4 Toma y tratamiento de datos

A partir de los datos obtenidos en cada punto de calibración, se determinará la media, la desviación de cada valor, sus errores y sus incertidumbres.

En los márgenes de temperatura y humedad relativa indicados no es necesario introducir correcciones por variaciones ambientales.

a) Las deformaciones de la herramienta ( $x_{ji}$ ) en cada medición, se obtienen como:

$$x_{ji} = x_j - x_{j_0} \quad (1)$$

donde:

$i$  es el índice de la carga

$j$  es el índice de la indicación de la herramienta

$j_0$  se refiere a la indicación de la herramienta a carga cero

Teniendo en cuenta todas las posibles magnitudes de influencia, la ecuación de modelo será:

$$x_{ji} = x_j - x_{j0} + \delta x_j + \delta x_{j0} + \delta x_{b_L} + \delta x_b + \delta x_{b'} + \delta x_{\Delta\phi} + \delta x_{\Delta\gamma} + \delta x_{icm} \quad (2)$$

donde  $\delta x_j, \delta x_{j0}, \delta x_{b_L}, \delta x_b, \delta x_{b'}, \delta x_{\Delta\phi}, \delta x_{\Delta\gamma}, \delta x_{icm}$ , tienen contribuciones nulas para el cálculo del valor de  $x_{ji}$ , pero sí contabilizan para el cálculo de su incertidumbre.

$\delta x_j$  es la contribución debida a la resolución en la lectura de  $x_j$

$\delta x_{j0}$  es la contribución debida a la resolución en la lectura de  $x_{j0}$

$\delta x_{b_L}$  es la contribución debida a la desviación con la variación de la longitud del brazo

$\delta x_b$  es la contribución debida a la reproducibilidad

$\delta x_{b'}$  es la contribución debida a la repetibilidad

$\delta x_{\Delta\phi}$  es la contribución debida a la variación de aplicación de fuerza

$\delta x_{\Delta\gamma}$  es la contribución debida a la variación de la posición de montaje

$\delta x_{icm}$  es la contribución debida al sistema generador de par de torsión con el patrón, incluida la deriva.

b) Determinación del valor medio ( $\bar{x}_i$ ) (de las 5 primeras mediciones)

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ji} \quad (3)$$

donde  $n$  es el número de mediciones a la carga  $i$  sin cambio de posición

c) Determinación de la desviación ( $A_{Sji}$ ) (de las 5 primeras mediciones)

$$A_{Sji} (\%) = \left| \frac{(M_i - x_{ji}) \cdot 100}{M_i} \right| \quad (4)$$

donde  $M_i$  es el valor del patrón en cada carga  $i$

NOTA.- El patrón y la herramienta tienen que indicar en las mismas unidades

d) Determinación del error de repetibilidad a partir de la desviación típica ( $b'_i$ ) (de las 5 primeras mediciones)

$$b'_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\bar{x}_i - x_{ji})^2} \quad (5)$$

e) Determinación del error de repetibilidad con variación de la longitud del brazo ( $b_{Li}$ ) (sólo para llaves dinamométricas)

$$x_{ji} = x_j - x_{j0} \quad (6)$$

$$b_{Li} = \left| \bar{x}_i - x_{ji} \right| \quad (7)$$

donde:

$j$  es el número de medición de la indicación de la herramienta con variación de la longitud del brazo

$j_0$  se refiere a la indicación de la herramienta a carga cero de la medición  $j$

f) Determinación del error de reproducibilidad ( $b_i$ )

$$x_{ji} = x_j - x_{j0} \quad (8)$$

$$b_i = \left| \bar{x}_i - x_{ji} \right| \quad (9)$$

donde:

$j$  es el número de medición de la indicación de la herramienta con cambio de posición de giro a 90°

$j_0$  se refiere a la indicación de la herramienta a carga cero de la medición  $j$

g) Variación de aplicación de fuerza ( $\Delta\varphi_i$ ) (sólo para llaves dinamométricas)

$$\cos 0^\circ - \cos 10^\circ = 0,0152 \quad (10)$$

$$\Delta\varphi_i = \left| 0,0152 \cdot \bar{x}_i \right| \quad (11)$$

h) Variación de posición de montaje ( $\Delta\gamma_i$ )

En llaves dinamométricas:

$$\cos 0^\circ - \cos 3^\circ = 0,0014 \quad (12)$$

$$\Delta\gamma_i = \left| 0,0014 \cdot \bar{x}_i \right| \quad (13)$$

En destornilladores dinamométricos:

$$\cos 0^\circ - \cos 5^\circ = 0,0038 \quad (14)$$

$$\Delta\gamma_i = \left| 0,0038 \cdot \bar{x}_i \right| \quad (15)$$

En escala digital (numérica) se considera que la resolución es el incremento del valor que aparece en el indicador digital, siempre que la indicación no fluctúe en más de este incremento, cuando el instrumento está sin carga. Cuando las lecturas fluctúan más que el valor de la resolución previamente determinado (con el instrumento sin carga), se tomará como valor de la resolución, la mitad de la amplitud de la fluctuación.

*NOTA: La determinación de la resolución en escala analógica debe obtenerse a partir de la relación entre la anchura del índice o de la traza y la distancia entre los centros de dos divisiones contiguas de la escala (longitud de una división).*

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Interpretación de resultados

Para cada valor de par de torsión ensayado se dispondrá de las desviaciones de las medidas efectuadas respecto a los valores convencionalmente verdaderos indicados por los patrones utilizados. Cada desviación llevará asociado un valor de incertidumbre estimada según lo indicado en el punto 6.2.

En el certificado de calibración se indicará la incertidumbre expandida y su factor de cobertura. La incertidumbre declarada puede asociarse a cada uno de los resultados obtenidos, o bien suponer una incertidumbre máxima para todo el campo de medida.

Las desviaciones permitidas de las medidas efectuadas respecto a los valores convencionalmente verdaderos indicados por los patrones utilizados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Desviación admisible

Clase <sup>a</sup>	Valor máximo de par de torsión	
	≤ 10 N·m	> 10 N·m
A y D	± 6 %	
B, C y E	± 6 %	± 4 %

<sup>a</sup> En el caso de herramientas dinamométricas con medida electrónica (clase C y clase E) y el valor indicado (clase B y clase D), los valores de la desviación admisible incluyen el error debido a la resolución del visor.

### 6.2 Incertidumbres

En el siguiente apartado se describe un método para el cálculo de la incertidumbre de medida de una calibración [1] y [3]. De acuerdo con el tipo de instrumento de medida que sea calibrado podrá ser necesario añadir alguna componente más, lo cual será debidamente justificado.

El tratamiento que sigue es de carácter general sin especificar el tipo de máquina de par de torsión utilizado.

La calibración del instrumento de medida de par de torsión se hará por comparación, usando una máquina de calibración de par con escalones de par de torsión conocidos, o un equipo de calibración con un instrumento patrón.

Las principales contribuciones de incertidumbre son:

a) Incertidumbre debida a la repetibilidad  $\delta x_b$ ,

$$u(\delta b_i) = \frac{b_i}{\sqrt{n}} \quad (16)$$

b) Incertidumbre debida a la resolución  $\delta x_j$

La contribución de incertidumbre debida a la resolución en la lectura de  $x_j$  es:

$$u(\delta x_j) = \frac{r}{\sqrt{12}} \quad (17)$$

c) Incertidumbre debido a la resolución  $\delta x_{j0}$

La contribución de incertidumbre debida a la resolución en la lectura de  $x_{j0}$  es:

$$u(\delta x_{j0}) = \frac{r}{\sqrt{12}} \quad (18)$$

d) Incertidumbre debida a la desviación con la variación de la longitud del brazo  $\delta x_{b_L}$  (sólo para llaves dinamométricas)

$$u(\delta x_{b_L}) = \frac{b_{L_i}}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

e) Incertidumbre debida reproducibilidad  $\delta x_b$

$$u(\delta x_b) = \frac{b_i}{\sqrt{3}} \quad (20)$$

Debido a condiciones específicas de montaje de las herramientas dinamométricas según UNE-EN ISO 6789 [2], se tendrán que tener en cuenta otras contribuciones a la incertidumbre:

f) Incertidumbre debida a la variación del punto de aplicación de la carga  $\delta x_{\Delta\varphi}$  (sólo para llaves dinamométricas)

$$u(\delta x_{\Delta\varphi}) = \frac{\delta(\Delta\varphi_i)}{\sqrt{3}} \quad (21)$$

g) Incertidumbre debida a la variación de la posición de montaje  $\delta x_{\Delta\gamma}$ .

$$u(\delta x_{\Delta\gamma}) = \frac{\delta(\Delta\gamma_i)}{\sqrt{3}} \quad (22)$$

h) Incertidumbre debida al sistema generador de par con el patrón incluida la deriva  $\delta x_{icm}$ .

$$u(\delta x_{icm}) = \frac{U(\delta x_{icm})}{2} \quad (23)$$

Tabla 3: Contribuciones a la incertidumbre combinada.

Magnitud $X_i$	Valor estimado $x_i$	Distribución de probabilidad	Incertidumbre típica $u(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad $c_i$	Contribución a la incertidumbre típica $u_i(y)$
$\delta b_i'$	0	normal (Tipo A)	$u(\delta x_{b'})$	1	$\frac{b_i'}{\sqrt{n}}$
Resolución en $x_j$ $\delta x_j$	0	Rectangular (Tipo B)	$u(\delta x_j)$	1	$\frac{r}{\sqrt{12}}$
Resolución en $x_{j0}$ $\delta x_{j0}$	0	Rectangular (Tipo B)	$u(\delta x_{j0})$	-1	$\frac{r}{\sqrt{12}}$
Variación de longitud del brazo (solo llaves dina.) $\delta x_{b_L}$	0	Rectangular (Tipo B)	$u(\delta x_{b_L})$	1	$\frac{b_{Li}}{\sqrt{3}}$
Reproducibilidad $\delta x_b$	0	Rectangular (Tipo B)	$u(\delta x_b)$	1	$\frac{b_i}{\sqrt{3}}$
Variación de aplicación de fuerza (solo llaves dina.) $\delta x_{\Delta\phi}$	0	Rectangular (Tipo B)	$u(\delta x_{\Delta\phi})$	1	$\frac{\Delta\phi_i}{\sqrt{3}}$
Variación de posición de montaje $\delta x_{\Delta\gamma}$	0	Rectangular (Tipo B)	$u(\delta x_{\Delta\gamma})$	1	$\frac{\Delta\gamma_i}{\sqrt{3}}$
Patrón $\delta x_{icm}$	0	Normal (Tipo B)	$u(\delta x_{icm})$	1	$\frac{U(\delta x_{icm})}{2}$
Incertidumbre combinada					$u(x_i) = \sqrt{\sum u_i^2(y)}$
Incertidumbre expandida					$U(x_i) = k \cdot u(x_i)$

La incertidumbre típica combinada se define como:

$$u(x_i) = \sqrt{u^2(\delta x_{b'}) + u^2(\delta x_j) + u^2(\delta x_{j0}) + u^2(\delta x_{b_L}) + u^2(\delta x_b) + u^2(\delta x_{\Delta\phi}) + u^2(\delta x_{\Delta\gamma}) + u^2(\delta x_{icm})} \quad (24)$$

La incertidumbre expandida será:

$$U(x_i) = k \cdot u(x_i) \quad (25)$$

El valor del factor de cobertura  $k$  depende del tipo de distribución de probabilidad de  $u(x_i)$  que resulta de la convolución de las distribuciones de probabilidad de todas sus contribuciones. Se calculará los grados de libertad efectivos, según el anexo E de EA-4/02 [3].

La incertidumbre relativa expandida  $W$  (%) se calculará:

$$W(x_i) = \left| \frac{U(x_i) \cdot 100}{\bar{x}_i} \right| \quad (26)$$

## 7. REFERENCIAS

### 7.1 Documentos utilizados en la elaboración

- [1] Expresión de la incertidumbre de medida: 2008 (3ª edición en Esp 2009) Septiembre 2008 JCGM 100:2008 GUM 1995 con ligeras correcciones.
- [2] UNE-EN ISO 6789 “Herramientas de maniobra para tornillos y tuercas. Herramientas dinamométricas manuales.”.
- [3] EA-4/02 M: 2013 “Evaluación de la incertidumbre de medida en las calibraciones”

# Metrología

NIPO: 113-19-006-0