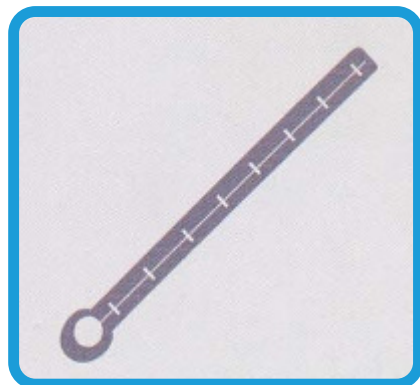
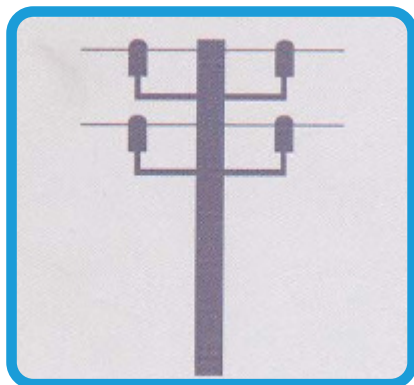
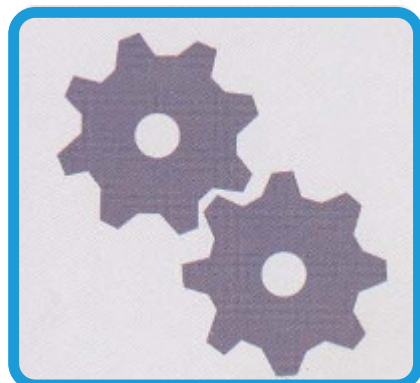
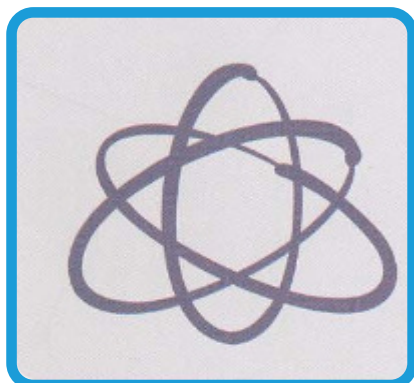
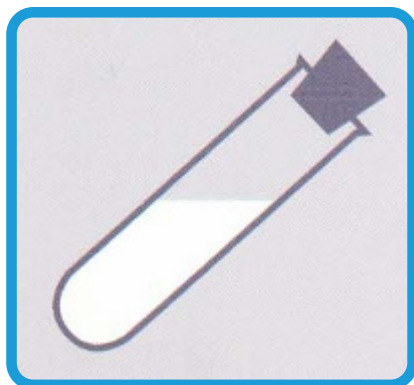
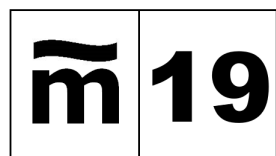


# Metrología



PROCEDIMIENTO ME-013 PARA LA  
CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE  
MEDIDA DE PAR ELÉCTRICOS



# **PROCEDIMIENTO ME013**

## **CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE PAR ELÉCTRICOS**

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 .....	3
5. DESCRIPCIÓN .....	4
5.1. Equipos materiales .....	4
5.2. Operaciones previas .....	5
5.3. Proceso de calibración .....	6
5.4. Toma y tratamiento de datos .....	8
6. RESULTADOS.....	9
6.1. Interpretación de resultados.....	9
6.2. Criterios de aceptación y rechazo .....	11
6.2. Cálculo de incertidumbres.....	11
7. REFERENCIAS .....	13
8. ANEXOS.....	14

## 1. OBJETO

Este procedimiento es de aplicación a los instrumentos de medida de par eléctricos incluyendo su dispositivo indicador.

## 2.- ALCANCE

El presente procedimiento tiene por finalidad la calibración de instrumentos de medida de par eléctricos, y está basado en los documentos EURAMEC/cg-14 "Guidelines on the calibration of static torque measuring devices" [2] y DKD-R-3-7 "Static calibration of reference torque wrenches" [3].

## 3.- DEFINICIONES

Aparte de las definiciones generales ya incluidas en [1] se incluyen las siguientes.

### Par de torsión o Par de apriete

Es el producto de una fuerza tangencial por la distancia entre su punto de aplicación y un centro de rotación.

Su unidad en el sistema internacional de unidades (SI) es el N·m.

### Instrumento de medida de par eléctrico:

Es un instrumento que indica el par que le ha sido aplicado a través de un dispositivo indicador eléctrico, el cual puede estar integrado o no en el mismo instrumento.

## 4.- GENERALIDADES

### 4.1 Introducción teórica

El principio de calibración de los instrumentos eléctricos de medida de par se basa en la comparación de su indicación con el par producido por un sistema de generación de par (por comparación o carga directa). Su indicación proviene de la deformación de bandas extensométricas conectadas en forma de puente de weatstone y adheridas a un cuerpo elástico que es deformado por la acción del par. Los instrumentos están formados por transductores, llaves de referencia, indicadores, cables de conexión y accesorios mecánicos...

### 4.2 Símbolos y abreviaturas

Tabla 1: Símbolos, unidades y denominación

Símbolos	Designación	Unidades
$M_A$	Mínimo valor de par en el rango de medida.	N·m
$M_E$	Máximo valor de par en el rango de medida.	N·m
$M$	Par aplicado en la calibración.	N·m
$I_0$	Indicación en el instrumento de medida de par del valor de cero antes de aplicar la carga en su posición de montaje.	mV/V
$I_f$	Indicación en el instrumento de medida de par después de cambiar la carga en su posición de montaje.	mV/V

Símbolos	Designación	Unidades
$I$	Indicación en el instrumento de medida de par en series crecientes.	mV/V
$I'$	Indicación en el instrumento de medida de par en series decrecientes.	mV/V
$S$	Sensibilidad.	(mV/V)/(N·m)
$S_E$	Sensibilidad al máximo del rango de medida.	(mV/V)/(N·m)
$X$	Valores de par escalonados en series crecientes.	mV/V
$X_a$	Cálculo del valor indicado a través de la ecuación de interpolación.	mV/V
$\overline{X_E}$	Valor medio del equipo de medida de par al máximo del rango de medida.	mV/V
$\overline{X}$	Valor medio del equipo de medida de par para escalones crecientes y en diferentes posiciones de montaje.	mV/V
$b$	Reproducibilidad.	mV/V
$b_l$	Repetibilidad a brazo corto	mV/V
$b'$	Repetibilidad.	mV/V
$f_a$	Desviación de la indicación del equipo de medida de par a partir de la curva de ajuste.	mV/V
$f_0$	Valor residual de la señal de cero del equipo de medida de par.	mV/V
$h$	Reversibilidad.	mV/V
$r$	Resolución del equipo indicador.	N·m
$\delta S_b$	Corrección de la sensibilidad debido a la repetibilidad.	%
$\delta S_{bl}$	Corrección de la sensibilidad debido a la repetibilidad con variación de brazo	%
$\delta S_b$	Corrección de la sensibilidad debido a la reproducibilidad.	%
$\delta S_h$	Corrección de la sensibilidad debido a la reversibilidad.	%
$\delta S_{f0}$	Corrección de la sensibilidad debido al valor residual de cero	%
$\delta S_{fa}$	Corrección de la sensibilidad debido a la interpolación.	%
$\delta X_r$	Corrección del valor indicado debida a la resolución.	%
$k$	Factor de cobertura.	
$u_c$	Incertidumbre típica combinada.	mV/V
$w_c$	Incertidumbre típica relativa combinada.	%
$w_{tcm}$	Contribución de la incertidumbre relativa de la máquina patrón.	%
$v$	Incertidumbre típica porcentual relativa al valor obtenido.	%
$u_{tcm}$	Contribución de la incertidumbre de la máquina de calibración.	N·m
$u$	Incertidumbre típica de medida.	mV/V
$w$	Incertidumbre típica relativa.	%
$U$	Incertidumbre de medida expandida.	mV/V
$W$	Incertidumbre de medida relativa expandida.	%

<sup>1)</sup> El mensurando es la señal de salida del instrumento de medida de par. La indicación podrá estar en diferentes unidades dependiendo de su designación (ej.: N·m y mV/V).

## 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 e instrumentos a calibrar. Los mismos se fabricarán de acuerdo a la capacidad máxima de los instrumentos de medida de par eléctricos, siendo su tamaño de acuerdo a la tabla 2.

Tabla 2: Acopladores cuadrados

Máximo 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 los instrumentos a calibrar estén perfectamente identificados: número de serie, marca, modelo, capacidad nominal, sentido de aplicación del par, etc. (debe procurarse también tener identificado los cables de conexión).

En caso de que no exista identificación alguna, se procederá a la identificación del instrumento de la mejor forma posible (única e indeleble), de tal modo que no exista duda alguna en cuanto a la correspondencia entre el instrumento calibrado y el certificado emitido.

b) Se controlará si existen golpes u otros daños similares en los instrumentos a calibrar.

c) Los patrones, instrumentos de medida de par eléctricos, 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) Los instrumentos eléctricos de par y los dispositivos indicadores deberán permanecer al menos 12 horas en el laboratorio de par para que adquieran la temperatura de la sala, así como deberán permanecer al menos 30 minutos conectados en tensión y encendidos para su estabilización previa al proceso de calibración.

c) Antes de iniciar la calibración se recomienda que todos los componentes que se utilizarán para la materialización de la medida de par y sus útiles de montaje, se sometan a dos precargas que excedan

del 8 % al 12 % de la capacidad nominal del instrumento a calibrar (siempre que sea posible), manteniendo dichas precargas entre 1 minuto y 1,5 minutos. Con esta precaución, se intenta evitar posibles problemas de roturas o deslizamientos durante el proceso de calibración.

d) En el caso de calibraciones de instrumentos de medida de par eléctricos por comparación, se seleccionará el patrón de par a utilizar tratando siempre que el par máximo en ambos instrumentos sea lo más similar posible.

### 5.3 Proceso de calibración

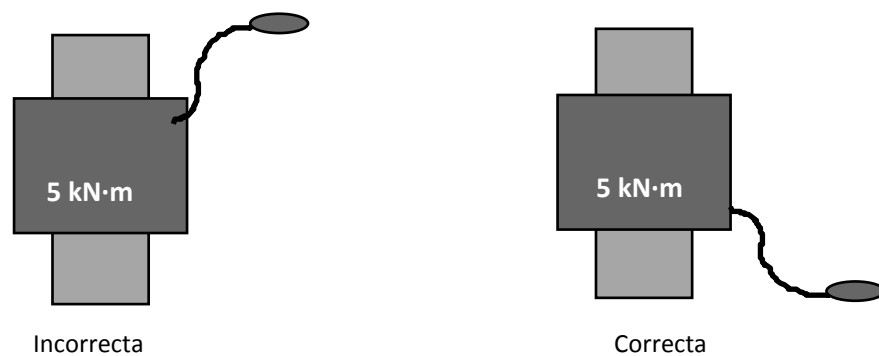
#### a) Requisitos a considerar

Realizar los ajustes y operaciones previas que indique el manual de uso del fabricante del equipo patrón o instrucción del laboratorio, para dejarlo en situación de iniciar la calibración.

#### b) Método de realización

Se colocarán los transductores en posición vertical, en el sentido en el que el cable de conexión quede más bajo (ver figura 1), sobre una superficie que no tenga variaciones de temperatura y se leerá el cero, para posteriormente colocarlo en la máquina de par. Para el caso de una llave de referencia, se colocará con la zona de medida hacia arriba y se leerá el cero, y posteriormente se montará dejándola lo más paralela posible al brazo de palanca de la máquina de calibración, verificando que el apoyo del mismo coincida con la marca indicada por el fabricante o la indicada por el cliente. De entre los filtros del dispositivo indicador (en el caso de ser posible) se seleccionará uno lo suficientemente estable (Ej. 0,22 Hz).

Figura 1

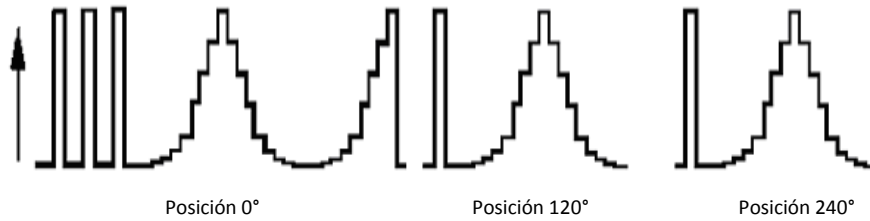


Las series de medidas se realizarán en sentido horario; anti-horario o ambos. En las descripciones siguientes se considerará solamente en un sentido, debiendo procederse análogamente en el otro sentido si corresponde. Los puntos de calibración, en cada sentido, que se realizarán para los instrumentos de medida de par eléctricos, sin incluir el cero, serán al menos 5 y  $M_A$  será al menos el 2 % de  $M_E$ .

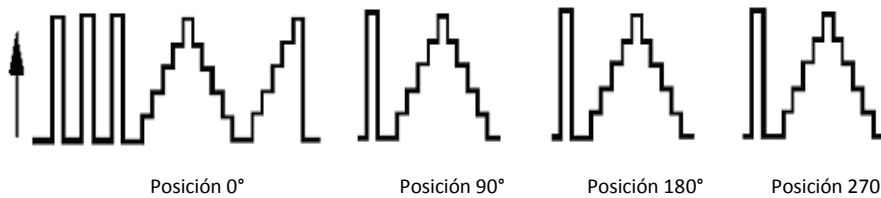
Las secuencias de calibración en cada sentido para transductores con zona de agarre en forma de eje, se harán para tres posiciones angulares diferentes ( $0^\circ$ ,  $120^\circ$  y  $240^\circ$ ) (Figura 2, ejemplo 1). Si usamos adaptadores cuadrados para el montaje, se harán 4 posiciones angulares diferentes ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$ ) si la máquina lo permite. Estas series pueden ser bien crecientes y decrecientes (Figura 2, ejemplo 2) o solamente crecientes (Figura 2, ejemplo 3). En todos los casos se harán dos series

crecientes a 0°. Para el caso de llaves de referencia, se harán tres posiciones angulares diferentes (0°, 90° y 180°) (Figura 2, ejemplo 4), con la peculiaridad que a 180° haremos otra serie creciente sin reversibilidad, y la aplicación de la carga se hará a distinta longitud, bien la especificada por el fabricante de la llave de referencia o bien donde sea posible.

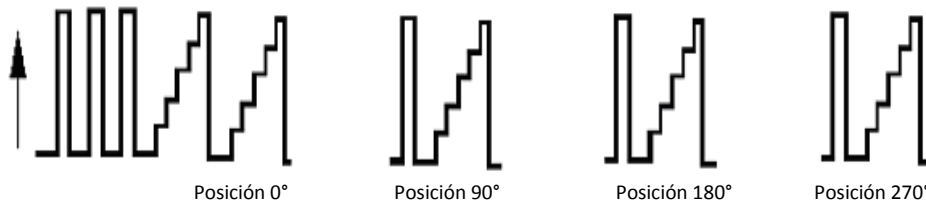
Figura 2. Secuencias de calibración



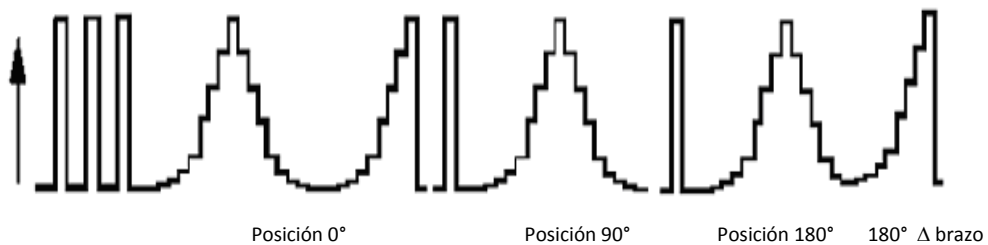
Ejemplo 1 de precargas y secuencias para medidas de par con un mínimo de 5 puntos



Ejemplo 2 de precargas y secuencias para medidas de par con adaptadores cuadrados, para un mínimo de 5 puntos.



Ejemplo 3 de precargas y secuencias para medidas de par con adaptadores cuadrados, para un mínimo de 5 puntos y solo series crecientes.



Ejemplo 4 de precargas y secuencias para medidas de par de llaves de referencia con un mínimo de 5 puntos.



#### 5.4 Toma y tratamiento de datos

En los márgenes de temperatura indicados no será necesario introducir correcciones por variaciones de condiciones ambientales.

Las deformaciones en cada serie, se obtienen como

$$X_i = J_i - I_{j_0} \quad (1)$$

a) Determinación del valor medio  $\overline{X}$

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n (I_j - I_{j_0}) \quad (2)$$

donde:

$j_0$  es la medición a carga cero de la serie

$n$  número de series crecientes

Nota: En la posición de 0°, la segunda serie de pares crecientes así como la serie a brazo corto para llaves, no se incluirán en el cálculo de  $\overline{X}$  para dar el mismo peso a todas las posiciones angulares.

b) Determinación de la sensibilidad  $S_E$

$$S_E = \frac{\overline{X}_E}{M_E} \quad (3)$$

c) Determinación de la repetibilidad  $b'$

$$b' = |X_1 - X_2| \quad (4)$$

donde  $X_1$  y  $X_2$  son valores en cada punto de calibración para medidas crecientes sin cambio de posición a 0°.

d) Determinación de la repetibilidad con variación de la longitud del brazo  $b_l$ . (Solo aplicable a llaves de referencia)

$$b_l = |X_1 - X_2| \quad (5)$$

donde  $X_1$  y  $X_2$  son valores en cada punto de calibración para medidas crecientes sin cambio de posición a 180°.

e) Determinación de la reproducibilidad  $b$

La reproducibilidad con cambio de posición será calculada por la siguiente ecuación:

$$b = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (6)$$

donde  $n$  es el número de series crecientes en las distintas posiciones de montaje.

Nota: En la posición de 0°, la segunda serie de pares crecientes así como la serie a brazo corto para llaves de referencia, no se incluirán en el cálculo de  $b$  para dar el mismo peso a todas las posiciones angulares.

f) Determinación del valor residual  $f_0$  para par cero

$$f_0 = \max |I_{jf} - I_{j_0}| \quad (7)$$

donde  $I_{jf} - I_{j_0}$  son las indicaciones de cero final e inicial de la serie  $j$ .

g) Determinación de la reversibilidad  $h$ .

$$h = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k |I_j - I'_j| \quad (8)$$

donde  $k$  es el número de series de calibración.

h) Determinación de la desviación  $f_a$

$$f_a = (\bar{X} - X_a) \quad (9)$$

donde  $X_a$  es el valor obtenido, para cada escalón de par, a través de una curva de ajuste por el método de mínimos cuadrados, usando ecuaciones de 1° y 3° grado sin término independiente.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Interpretación de resultados

#### Principio de clasificación

El campo de medida para que el instrumento de medida de par sea clasificado se determina considerando cada par de calibración sucesivamente, comenzando por el par máximo y disminuyendo hasta el par mínimo de calibración. Este campo de clasificación se interrumpe en el último par para el cual las exigencias de calibración se satisfacen.

#### Criterio de clasificación

Para la clasificación, el rango de medida tendrá como valor máximo  $M_E$ , y el valor mínimo  $M_A$  será:

$\leq 20\%$  de  $M_E$ , desde la clase 5 hasta 0,2

$\leq 40\%$  de  $M_E$ , para las clases 0,05 y 0,1.

Para la clasificación, se tomarán en consideración los siguientes criterios:

- Repetibilidad relativa sin cambio de posición ( $0^\circ$ ) dividida por el valor medio
- Repetibilidad relativa a variación de brazo sin cambio de posición ( $180^\circ$ ) dividida por el valor medio. (Sólo para llaves de referencia)
- Reproducibilidad relativa según diferentes posiciones de montaje dividida por el valor medio.
- Desviación relativa de la curva de ajuste dividida por el valor medio.
- Valor residual relativo dividido por el valor medio.
- Reversibilidad relativa para pares crecientes y decrecientes (cuando se realice) dividida por el valor medio.
- Resolución del instrumento indicador para cada valor de medida  $M_K$ .

En la tabla 3 se dan los valores de los diferentes parámetros en función de la clase del instrumento de medida así como la incertidumbre requerida del sistema de calibración.

Los resultados son conformes a la clase siempre que los valores de los parámetros sean menores o iguales que los valores de la tabla 3.

Tabla 3 Criterios de clasificación para los instrumentos de medida de par [2]

Clase	Máx. error permisible del instrumento de medida de par en %					Mínimo valor de par $M_A$	Sistema de calibración $M$
	Reproducibilidad relativa y Repetibilidad. con variación de longitud de brazo $\frac{b}{X}$ y $\frac{b_l}{X}$	Repetibilidad relativa $\frac{b'}{X}$	Valor residual de cero para par cero $\frac{f_0}{X_E}$	Reversibilidad relativa $\frac{h}{X}$	Desviación relativa de la indicación por la curva de ajuste $\frac{f_a}{X}$		Incertidumbre relativa de medida en % $W_{tcm} = k \cdot w_{tcm}$
0,05	0,050	0,025	0,0125	0,063	$\pm 0,025$	$\geq 4000r$	0,010
0,1	0,10	0,05	0,025	0,125	$\pm 0,05$	$\geq 2000r$	0,020
0,2	0,20	0,10	0,050	0,250	$\pm 0,10$	$\geq 1000r$	0,040
0,5	0,50	0,25	0,125	0,63	$\pm 0,25$	$\geq 400r$	0,10
1	1,0	0,5	0,25	1,25	$\pm 0,5$	$\geq 200r$	0,20
2	2,0	1,0	0,5	2,50	$\pm 1,0$	$\geq 100r$	0,40
5	5	2,5	1,25	6,25	$\pm 2,5$	$\geq 40r$	1,0

## 6.2 Criterios de aceptación y rechazo.

- Se comprobará para las calibraciones internas de los instrumentos de medida del laboratorio, si se mantienen los valores de clasificación, errores e incertidumbres con respecto a las calibraciones anteriores, teniendo que repetirse la calibración si se observan discrepancias, y si estas fueran permanentes, generar la degradación del instrumento de medida de par eléctrico.

- Las condiciones ambientales durante la calibración estarán dentro de los intervalos marcados en el laboratorio, establecidos en el apartado 5.2.

## 6.3 Cálculo de incertidumbres

En el siguiente apartado se describe el método para el cálculo de la incertidumbre de medida de una calibración. El tratamiento que sigue es de carácter general, sin especificar el tipo de máquina de par utilizado.

La calibración del instrumento de medida de par se hará por comparación o por carga directa, usando una máquina de calibración de par con valores conocidos.

a) El resultado de la calibración es la deformación media, descrita por la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = (S + \delta S_{b'} + \delta S_b + \delta S_{b_l} + \delta S_h + \delta S_{f_a} + \delta S_{f_o})M + \delta X_r \quad (10)$$

$\delta S_{b_l}$  solo se tiene en cuenta para llaves de referencia.

b) La incertidumbre  $u(\bar{X})$  de la indicación media  $\bar{X}$  se obtiene de acuerdo con la ley de propagación de la incertidumbre para variables no correlacionadas:

$$u^2_c(\bar{X}) = \sum_{i=1}^7 \left( \frac{\delta \bar{X}}{\delta x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) = \quad (11)$$

$$= M^2 u^2(\delta S_{b'}) + M^2 u^2(\delta S_b) + M^2 u^2(\delta S_{b_l}) + M^2 u^2(\delta S_h) +$$

$$M^2 u^2(\delta S_{f_a}) + M^2 u^2(\delta S_{f_o}) + S^2 u^2(M) + u^2(\delta X_r)$$

$S$  es una simple referencia de la indicación y no tiene incertidumbre.

Tabla 4: Contribuciones a la incertidumbre típica.

Magnitud	Estimación	Distribución. de probabilidad	Incertidumbre típica	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre típica
$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$
$\delta S_{b'}$	0	normal (Tipo A)	$\frac{b'}{M\sqrt{2}}$	$M$	$\frac{b'}{\sqrt{2}}$
$\delta S_b$	0	normal (Tipo A)	$\frac{b}{M\sqrt{n}}$	$M$	$\frac{b}{\sqrt{n}}$
$\delta S_{b_l}$	0	normal (Tipo A)	$\frac{b_l}{M\sqrt{2}}$	$M$	$\frac{b_l}{\sqrt{2}}$
$\delta S_h$	0	rectangular (Tipo B)	$\frac{h}{M\sqrt{12}}$	$M$	$\frac{h}{\sqrt{12}}$
$\delta S_{f_a}$	0	triangular (Tipo B)	$\frac{ f_a }{M\sqrt{6}}$	$M$	$\frac{ f_a }{\sqrt{6}}$
$\delta S_{f_0}$	0	rectangular (Tipo B)	$\frac{ f_0 }{M\sqrt{12}}$	$M$	$\frac{ f_0 }{\sqrt{12}}$
$\delta X_r$	0	rectangular (Tipo B)	$\frac{r}{\sqrt{12}} S$	1	$\frac{r}{\sqrt{12}} S$
$M$	$M$	normal (Tipo B)	$u_{icm}$	$S$	$u_{icm} S$
$S$	$S$		0	$M$	0
$\bar{X}$	$\bar{X}$				$u(\bar{X})$

Nota: donde la incertidumbre típica se obtiene a partir de los parámetros obtenidos como resultado de la calibración.

En este campo se trabaja con incertidumbres relativas (%) al valor obtenido en la carga y se tiene:

$$v(M) = \frac{u(M)}{M} 100 ; v(\bar{X}) = \frac{u(\bar{X})}{\bar{X}} 100 ; v(\delta X_r) = \frac{u(\delta X_r)}{X} 100 \quad (12)$$

$$v(\delta S_{b'}) = \frac{u(\delta S_{b'})}{S} 100 ; v(\delta S_b) = \frac{u(\delta S_b)}{S} 100 ; v(\delta S_{b_l}) = \frac{u(\delta S_{b_l})}{S} 100 \quad (13)$$

$$v(\delta S_h) = \frac{u(\delta S_h)}{S} 100 ; v(\delta S_{f_a}) = \frac{u(\delta S_{f_a})}{S} 100 ; v(\delta S_{f_0}) = \frac{u(\delta S_{f_0})}{S} 100 \quad (14)$$

En el caso de las magnitudes de estimación no nula se tiene  $v(x_i) = w(x_i) \cdot 100$ .

c) En términos de estas incertidumbres relativas se tiene:

$$v^2(\bar{X}) = v^2(\delta S_{b'}) + v^2(\delta S_b) + v^2(\delta S_{b_l}) + v^2(\delta S_h) + v^2(\delta S_{f_a}) + v^2(\delta S_{f_0}) + v^2(M) + v^2(\delta X_r) \quad (15)$$

Magnitud	Estimación	Distribución de probabilidad	Incertidumbre relativa típica	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre relativa típica
$X_i$	$x_i$		$v(x_i)$	$c_i$	$v_i(y)$
$\delta S_{b'}$	0	normal (Tipo A)	$\frac{b'}{X \sqrt{2}} 100$	1	$\frac{b'}{X \sqrt{2}} 100$
$\delta S_b$	0	normal (Tipo A)	$\frac{b}{X \sqrt{n}} 100$	1	$\frac{b}{X \sqrt{n}} 100$
$\delta S_{b_l}$	0	normal (Tipo A)	$\frac{b_l}{X \sqrt{2}} 100$	1	$\frac{b_l}{X \sqrt{2}} 100$
$\delta S_h$	0	rectangular (Tipo B)	$\frac{h}{X \sqrt{12}} 100$	1	$\frac{h}{X \sqrt{12}} 100$
$\delta S_{f_a}$	0	triangular (Tipo B)	$\frac{ f_a }{X \sqrt{6}} 100$	1	$\frac{ f_a }{X \sqrt{6}} 100$
$\delta S_{f_a}$ (solo para ajuste de 1° grado)	0		$\frac{ f_a }{X} 100$		$\frac{ f_a }{X} 100$
$\delta S_{f_0}$	0	rectangular (Tipo B)	$\frac{ f_0 }{X \sqrt{12}} 100$	1	$\frac{ f_0 }{X \sqrt{12}} 100$
$\delta X_r$	0	rectangular (Tipo B)	$\frac{r}{M \sqrt{12}} 100$	1	$\frac{r}{M \sqrt{12}} 100$
$M$	$M$	normal (Tipo B)	$W_{\text{tcm}} \cdot 100$	1	$W_{\text{tcm}} \cdot 100$
$S$	$S$		0	1	0
$\frac{S}{X}$	$\frac{S}{X}$				$w_c \cdot 100$

La incertidumbre de medida expandida para cada escalón de calibración es calculada a partir de la ecuación (11), acorde con la ecuación (16). La incertidumbre de medida expandida relativa para cada escalón de calibración es calculada a partir de la ecuación (17). Si aplicamos el teorema del límite central y no hay ninguna contribución no normal mucho mayor que las demás, puede considerarse que la distribución resultante de la combinación de todas ellas es normal, y se puede tomar  $k = 2$  como factor de cobertura para un nivel de confianza del 95 %. En caso de no cumplirse esta hipótesis se puede determinar el número de grados de libertad efectivos según [1] y a partir de ellos el factor de cobertura  $k$ .

$$U = k \cdot u(\bar{X}) \quad (16)$$

$$W = k \cdot w(\bar{X}) \quad (17)$$

## 7. REFERENCIAS

[1] JCGM 100: 2008, Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida. EDICIÓN DIGITAL 1 en español (traducción 1ª Ed. Sept. 2008) Primera edición Septiembre 2008 (original en inglés). Centro Español de Metrología.

- [2] EURAMEC/cg-14 “Guidelines on the calibration of static torque measuring devices”.
- [3] Static calibration of reference torque wrenches. DKD-R 3-7.
- [4] UNE-EN-ISO/IEC 17025:2015. “Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”.

## 8.-ANEXOS.

### 8.1.-Ejemplo de calibración de un instrumento de medida de par eléctrico.

Se realiza la calibración de un instrumento de medida de par de 50 N·m de alcance máximo. Durante la calibración se realizan 7 series de medida de 8 puntos cada una: una serie creciente y una serie decreciente a 0 °, una nueva serie creciente a 0 °, una serie creciente y una serie decreciente a 120 ° y una serie creciente y una serie decreciente a 240 °. Los momentos realizados en cada una de las series son: 2 N·m, 4 N·m, 6 N·m, 10 N·m, 20 N·m, 30 N·m, 40 N·m y 50 N·m, con unas condiciones ambientales en temperatura de 20 °C ± 1 °C.

La máquina de par usada como patrón es una máquina de par de carga directa.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Pares (N·m)	Indicaciones en (mV/V)						
	0 ° creciente	0 ° decrec.	0 ° creciente	120 ° creciente	120 ° decrec.	240 ° creciente	240 ° decrec.
0	-0,005094	-0,005066	-0,005078	-0,005122	-0,005084	-0,004758	-0,004752
2	0,056300	0,056358	0,056322	0,056280	0,056336	0,056640	0,056664
4	0,117702	0,117776	0,117726	0,117688	0,117754	0,118048	0,118088
6	0,179110	0,179198	0,179134	0,179094	0,179180	0,179460	0,179514
10	0,301934	0,302044	0,301956	0,301914	0,302022	0,302272	0,302358
20	0,608996	0,609134	0,609022	0,608978	0,609108	0,609340	0,609446
30	0,916086	0,916216	0,916106	0,916064	0,916194	0,916428	0,916524
40	1,223194	1,223282	1,223214	1,223170	1,223254	1,223534	1,223592
50	1,530312	1,530322	1,530334	1,530284	1,530294	1,530656	1,530636

Los valores indicados medios y los parámetros de calibración son:

Pares (N·m)	$\bar{X}$ (mV/V)	$\frac{b'}{\bar{X}}$ (%)	$\frac{b}{\bar{X}}$ (%)	$\frac{h}{\bar{X}}$ (%)	$\frac{f_a}{\bar{X}}$ (%)	$\frac{r}{M}$ (%)
2	0,061398	0,0098	0,0065	0,0749	-0,0077	0,00326
4	0,122804	0,0065	0,0059	0,0489	-0,0025	0,00163
6	0,184213	0,0043	0,0041	0,0413	-0,0003	0,00109
10	0,307031	0,0020	0,0014	0,0330	0,0006	0,00065
20	0,614096	0,0016	0,0009	0,0203	0,0003	0,00033
30	0,921184	0,0004	0,0004	0,0129	0,0000	0,00022
40	1,228291	0,0003	0,0002	0,0062	-0,0001	0,00016
50	1,535409	0,0004	0,0003	0,0000	0,0000	0,00013

donde el polinomio de interpolación es:

$$X_a = 3,0700937 \cdot 10^{-2} \cdot M + 2,1724 \cdot 10^{-7} \cdot M^2 - 1,4552 \cdot 10^{-9} \cdot M^3$$

y el polinomio inverso es:

$$M_a = 32,57295 \cdot X - 7,504 \cdot 10^{-3} \cdot X^2 + 1,6374 \cdot 10^{-3} \cdot X^3$$

El error relativo de cero es:  $\frac{f_0}{X_E} = 0,0018 \%$

La sensibilidad es:  $S_E = \frac{X_E}{M_E} = 0,0307082 \text{ (mV/V)/(N}\cdot\text{m)}$

La clasificación del instrumento de medida de par según la tabla 6 es:

clase 0,05 en el campo 4 N·m a 50 N·m

clase 0,1 en el campo 2 N·m a 50 N·m

Las incertidumbres son, como incertidumbres expandidas, para  $k=2$ :

$M$ en (N·m)	$W$ en (%)
2	0,046
4	0,030
6	0,026
10	0,020
20	0,012
30	0,008
40	0,004
50	0,002



# Metrología

NIPO: 113-19-006-0