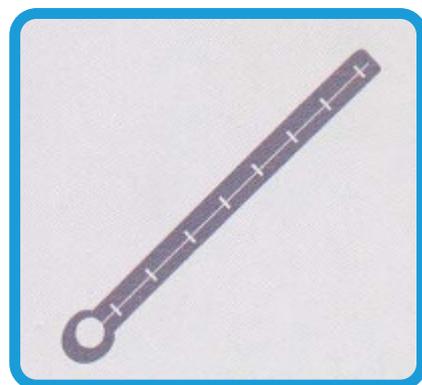
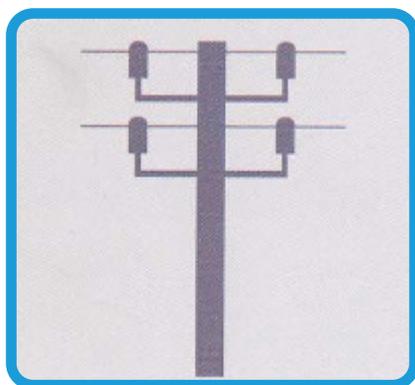
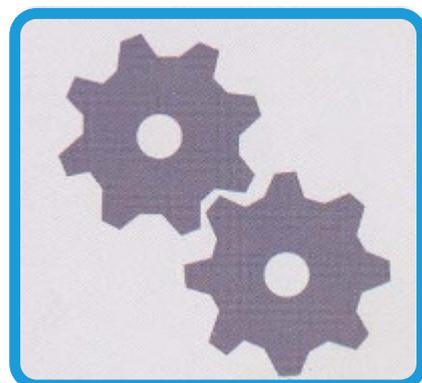
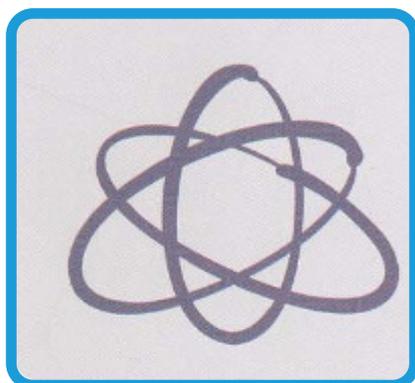
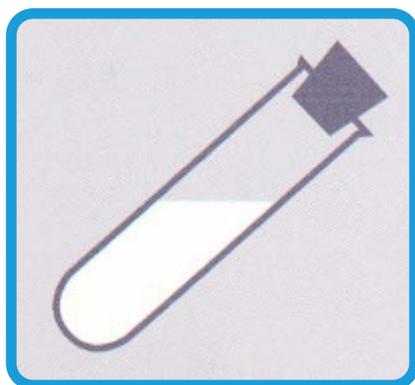
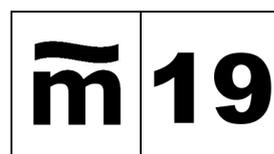


# Metrología



PROCEDIMIENTO DI-003 PARA LA  
CALIBRACIÓN DE TRANSPORTADORES  
DE ÁNGULOS



## **PROCEDIMIENTO DI-003**

# **CALIBRACIÓN DE TRANSPORTADORES DE ÁNGULOS**

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)).

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
3.1 Regla fija .....	3
3.2 Regla móvil .....	3
3.3 Contacto .....	3
4. GENERALIDADES .....	3
5. DESCRIPCIÓN .....	4
5.1 Equipos y materiales.....	4
5.2 Operaciones previas .....	5
5.3 Proceso de calibración .....	6
5.4 Toma y tratamiento de datos.....	7
6. RESULTADOS.....	8
6.1 Cálculo de incertidumbres .....	9
6.2 Interpretación de resultados .....	11
7. REFERENCIAS .....	12
8. ANEXO .....	12
8.1 Ejemplo numérico .....	12

## 1. OBJETO

El presente PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN tiene por objeto exponer un método de calibración para los TRANSPORTADORES DE ÁNGULOS (en lo que sigue se les denominará abreviadamente como TRANSPORTADORES), codificados como D-05.01 según la Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional (ref. [5]), actualizando el proceso de calibración de la ref. [6].

Este procedimiento se redacta de acuerdo con los criterios generales establecidos por el PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN de la ref. [1], emplea en todo lo posible la terminología del VOCABULARIO de la ref. [2] y sigue, para el cálculo de incertidumbres, las recomendaciones de las referencias [3] y [4].

## 2. ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a transportadores tanto de reglas fijas como de reglas móviles, con cualquier campo de medida hasta  $C = 360^\circ$  y con divisiones de escala  $E \geq 30''$ , analógicas o digitales.

Es frecuente que estos instrumentos incorporen diversos accesorios como escuadra busca-centros, reglas complementarias, pie para medidas sobre mesa, etc., pero el presente procedimiento se centrará en la calibración angular del transportador para sus reglas básicas de contacto, cuya longitud no suele exceder de 300 mm.

Se incluyen, sin embargo, ciertas operaciones previas de calibración de parámetros complementarios como son las rectitudes de los bordes de las reglas y el paralelismo entre bordes de cada regla; sus resultados se someterán, en todo caso, a ciertas especificaciones de calidad mediante el establecimiento de unas tolerancias para las desviaciones de forma de los bordes o filos de las reglas (apartado 5.3.1).

## 3. DEFINICIONES

### 3.1. Regla fija:

Regla que se encuentra rígidamente unida al cuerpo del transportador, en donde se sitúa la regla circular (de trazos o de otro tipo de transductor), que forma la escala angular de medición.

### 3.2. Regla móvil:

Regla que se puede separar del cuerpo del transportador aflojando algún dispositivo de sujeción; para su correcta colocación suele disponer de una guía de deslizamiento.

### 3.3. Contacto:

Operación mediante la que, por giro de las reglas del transportador, se efectúa el contacto entre un borde de cada una de las dos reglas de medida sobre las caras del mensurando, definiendo el ángulo que forman entre ellas.

## 4. GENERALIDADES

Los transportadores son instrumentos portátiles de metrología dimensional para la medición exclusiva de magnitudes angulares con precisiones medias, sobre mensurandos muy diversos, tanto en formas como en tamaños; se trata de instrumentos muy versátiles, no costosos y de manejo muy sencillo.

Su escala angular se basa en una regla circular de trazos (D-04.04 según referencia [5]), generalmente de tipo analógico, aunque ya empiezan a presentarse modelos de lectura digital; mediante un nonius e incluso una pequeña lupa de lectura, se obtienen divisiones de escala de hasta  $E = 1'$  en los de tipo analógico, pudiendo reducirse algo dicho valor en los de tipo digital. En todo caso, teniendo en cuenta su forma de manipulación para medir y el tipo de mensurandos sobre los que es adecuado aplicarlo, no tiene mucho sentido bajar del valor de división de escala especificado en el apartado 2 ALCANCE de este procedimiento.

Para efectuar una medición han de llevarse los dos bordes más adecuados de las reglas, a contacto sobre las dos caras que definen el ángulo en el mensurando, procurando situar dichos bordes en posición perpendicular a la arista del diedro que se mide y asegurando que el contacto es suficientemente seguro; hecho lo anterior, basta efectuar la lectura directamente sobre la escala de medida.

El transportador es un instrumento completamente equivalente dentro del campo de las medidas angulares, al pie de rey (D-02.02 según referencia [5]) dentro del campo de las medidas longitudinales, efectuando las reglas la misión de los topes de contacto del pie de rey, en donde uno es siempre fijo y el otro siempre móvil.

**IMPORTANTE:** Un transportador puede, en general, efectuar medidas de varias formas, según la colocación que se realice del mensurando sobre las reglas o lo que es igual, según la pareja de bordes que se seleccionen para el contacto de medida, y ello puede dar lugar a que la indicación directamente obtenida en la escala no sea el ángulo medido sino otro, relacionado con el medido por alguna función sencilla, como el complemento o suplemento. Esto es así para facilitar la sujeción y el acoplamiento sobre ángulos de valor y dimensiones muy diferentes.

El principio fundamental en que se basa la calibración de transportadores es la medición de bloques patrón angulares (BPA) con el mismo, además de alguna otra operación complementaria.

Se relacionan seguidamente las abreviaturas y símbolos utilizados en este procedimiento:

BPA: Bloque patrón angular.  
PP: Polígono patrón.  
MP: Mesa de planitud.

## 5. DESCRIPCIÓN

### 5.1. Equipos y materiales

Para la calibración de la escala angular de un transportador y siguiendo el principio fundamental en metrología de calibrar de la forma más similar posible a como se mide, se emplearán bloques patrón angulares (BPA; D.04.02 según referencia [5]), polígonos patrón (PP; D.04.01 según referencia [5]) y mesa de planitud (MP; D.06.05 según referencia [5]), con incertidumbres adecuadas a los valores de la división de escala del instrumento concreto para el que se apliquen.

Es necesario disponer también de sensores de condiciones ambientales, fundamentalmente de temperatura, debidamente calibrados para asegurar su correcta trazabilidad, a fin de poder registrar los valores de las mismas durante la calibración; a título meramente orientativo, sería aconsejable poder apreciar valores de temperatura con  $E \leq 1^\circ\text{C}$ , en un campo  $C = 15^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$  como mínimo.

## 5.2. Operaciones previas

- 5.2.1 Para poder emitir un certificado de calibración de un transportador, éste debe encontrarse identificado, de forma permanente, con los siguientes datos como mínimo:

MARCA  
NÚMERO DE SERIE o DE IDENTIFICACIÓN

Es recomendable que además pueda identificarse el MODELO.

Los anteriores datos de identificación pueden encontrarse grabados sobre el propio cuerpo del transportador o bien sobre su estuche, siendo deseable que la identificación figure en ambos lugares y si sólo figura en uno de ellos es mejor que sea en el instrumento.

Además, si alguna de sus reglas de contacto es móvil, deberá encontrarse también grabada con una identificación suficiente.

En el certificado de calibración deberá reseñarse la identificación del transportador.

En caso de identificación insuficiente es admisible proceder a establecer la misma de la mejor forma posible, por ejemplo, mediante una etiqueta fuertemente adherida al instrumento, de forma que no exista duda alguna en cuanto a la correspondencia entre el equipo calibrado y el certificado emitido.

En los transportadores de ángulo, al igual que en el pie de rey, es siempre recomendable comprobar la correcta indicación cero entre las reglas, sin ningún mensurando, antes de proceder a efectuar una medición.

- 5.2.2 Es deseable que la temperatura ambiente del local en el que se realice la calibración del transportador, se mantenga durante toda la operación dentro del intervalo:

$$T = (20 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura habrá de anotarse, como mínimo, al comienzo y al final de la calibración aunque es recomendable anotarla también aproximadamente cada hora.

**NOTA:** Al tratarse de un equipo de medida de ángulos, la influencia de la temperatura no presenta una importancia tan grande como en la medida absoluta de longitudes.

- 5.2.3 Se prepararán adecuadamente los patrones a emplear en la calibración del transportador (BPA y PP), desengrasándolos y limpiándolos con papel y paños suaves, así como con algún desengrasante adecuado, como por ejemplo una mezcla de alcohol y éter al 50%.

Se localizarán los datos de dichos patrones (valores e incertidumbres fundamentalmente), procedentes de sus certificados de calibración externa o de sus resultados de calibración interna, teniendo en cuenta lo que se indica en 5.3.2 y efectuando con ellos las operaciones que sean procedentes.

- 5.2.4 Los patrones a emplear se situarán en la zona de calibración, preferiblemente sobre una base metálica, dejándolos estabilizar térmicamente al menos durante media hora.

El apoyo de los patrones sobre la base metálica se hará siempre por las caras laterales, no de medida, de los mismos.

5.2.5 Antes de proceder a la calibración propiamente dicha se efectuará una inspección visual del transportador para comprobar la correcta legibilidad de su escala, suavidad del movimiento de giro y de los movimientos de desplazamiento de las reglas móviles, si existen.

Muy en especial se comprobará el correcto estado de los bordes de contacto de las reglas, comprobando que no tienen deformaciones localizadas; para ello, además de la inspección visual con una lupa, puede ser de utilidad pasar suavemente un dedo a lo largo de cada borde, para comprobar que no se detectan marcas o rayas de ningún tipo.

### 5.3. Proceso de Calibración

#### 5.3.1. Comprobaciones previas

Con carácter previo a la calibración ha de comprobarse la rectitud de cada borde de contacto y el paralelismo entre los dos bordes de contacto de cada regla, si procede.

Esto puede efectuarse mediante proyector de perfiles (D-10.03 y D-10.08 según referencia [5]), microscopio de medida (D-10.02 según referencia [5]) o medidora de tres coordenadas (D-02.07 según referencia [5]).

Con objeto de limitar la calidad mínima de los transportadores de ángulo se establecen tolerancias para estas desviaciones, de forma que si no se cumplen se detenga la calibración, enviando a reparar el transportador.

A título meramente orientativo y para longitudes de las reglas de contacto hasta 300 mm, se proponen las tolerancias siguientes:

$$D_R \leq 0,01 \text{ mm cada } 100 \text{ mm de regla}$$

$$D_p \leq 0,02 \text{ mm cada } 100 \text{ mm de regla}$$

Con las medidas de estas desviaciones, dentro de tolerancia, puede estimarse una contribución de incertidumbre como se indica en el apartado 6.1.

#### 5.3.2. Calibración

La calibración se realizará mediante BPA, PP y MP, pudiendo materializarse aquellos valores nominales para los que no se disponga del patrón adecuado mediante unión por adherencia de bloques y polígonos de los valores apropiados.

Dado que las escalas angulares de los transportadores poseen divisiones de escala elevadas ( $E \geq 30''$  según se indicó en el apartado 2 ALCANCE), se aceptan las actuaciones siguientes:

- Siempre que las desviaciones angulares al valor nominal certificadas para todos los BPA y PP se aseguren dentro de un intervalo de  $\pm 10''$  (tolerancia de desviación), puede trabajarse con los valores nominales y deducir una incertidumbre común a partir de la tolerancia indicada (clase de precisión o calidad), añadiéndole, en su caso, otras contribuciones que pudieran ser significativas

La incertidumbre de los patrones preparados uniendo bloques y polígonos por adherencia puede obtenerse mediante suma lineal de las incertidumbres de cada uno de estos, habida cuenta de la fuerte correlación que presumiblemente existe entre los valores certificados de un mismo juego de patrones. Si los patrones proceden de

juegos diferentes, será responsabilidad de quien efectúe la calibración o de su superior suficientemente cualificado, sumar lineal o cuadráticamente estas incertidumbres, según los datos disponibles.

La MP debería ser, al menos, de calidad 0 según UNE 82309 (refs. [7] y [8]). En estas condiciones la incertidumbre del patrón de 180° resulta normalmente despreciable aunque puede cuantificarse una incertidumbre a partir de las máximas desviaciones estimadas al colocar el transportador de ángulos sobre la MP (véase ejemplo apartado 8.1).

- Bastará con estudiar la repetibilidad del transportador en un punto de calibración en el que se efectuarán 10 medidas, tomando en los restantes puntos de calibración una sola medida.

Para el desarrollo de la calibración, los patrones se irán situando, sucesivamente, sobre una placa metálica situada a su vez en una mesa que facilite la actuación del operador, con la arista del diedro patrón en posición aproximadamente vertical. Se efectuará el contacto del transportador sobre el patrón, cuidando de que los dos bordes de contacto queden situados perpendiculares a dicha arista.

Se efectuarán medidas, al menos, en  $l = 12$  puntos de calibración, aproximadamente equidistantes dentro de la escala del transportador.

#### 5.4. Toma y tratamiento de datos

A fin de identificar sistemáticamente los datos y los resultados, se denominarán:

$\alpha_i$  = medida en el punto  $i$  de calibración ( $i = 1$  a  $l$ ); uno de estos puntos es el de repetibilidad y los restantes son puntos de una sola medida.

$\alpha_{ij}$  = medida de orden  $j$  en el punto  $i$  de calibración elegido para estimar la repetibilidad ( $j = 1$  a  $J$ ;  $J = 10$ )

$\alpha_{pi}$  = valor del patrón empleado para calibrar en el punto  $i$

Se calcularán los parámetros siguientes:

5.4.1  $\bar{\alpha}_i$  = Valor medio de calibración en el punto elegido para estimar la repetibilidad:

$$\bar{\alpha}_i = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \alpha_{ij}$$

5.4.2  $c_{ci}$  = Corrección de calibración en el punto  $i$ :

$$c_{ci} = \alpha_{pi} - \alpha_i \quad (\text{puntos de una medida})$$

$$c_{ci} = \alpha_{pi} - \bar{\alpha}_i \quad (\text{punto de } J \text{ medidas})$$

5.4.3  $s_i$  = Desviación típica de calibración:

$$s_i^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (\alpha_{ij} - \bar{\alpha}_i)^2 \quad (\text{en el punto de } J \text{ medidas})$$

Con objeto de registrar menor número de cifras es frecuente anotar como indicaciones del instrumento las desviaciones de las mismas al nominal. Para ello es conveniente introducir las siguientes denominaciones adicionales:

- $d_i$  = desviación al nominal de la medida en el punto  $i$  de calibración ( $i = 1$  a  $l$ ).
- $d_{ij}$  = desviación al nominal de la medida de orden  $j$  en el punto  $i$  de calibración elegido para estimar la repetibilidad ( $j = 1$  a  $J$ ).
- $d_{pi}$  = desviación al nominal del patrón empleado para calibrar en el punto  $i$ .
- $d_{oi}$  = valor nominal en el punto  $i$  de calibración.

Los parámetros antes indicados se expresan ahora en función de las desviaciones al nominal en la forma siguiente:

- 5.4.4  $\bar{d}_i$  = Valor medio de la desviación de calibración en el punto elegido para estimar la repetibilidad:

$$\bar{d}_i = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J d_{ij}$$

- 5.4.5  $c_{ci}$  = Corrección de calibración en el punto  $i$ :

$$c_{ci} = d_{pi} - d_i \quad (\text{puntos de una medida})$$

$$c_{ci} = d_{pi} - \bar{d}_i \quad (\text{punto de } J \text{ medidas})$$

- 5.4.6  $s_i$  = Desviación típica de calibración:

$$s_i^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (d_{ij} - \bar{d}_i)^2 \quad (\text{en el punto de } J \text{ medidas})$$

Si se cumplen las condiciones indicadas en 5.3.2, los valores de los patrones pueden identificarse con sus nominales resultando  $d_{pi} = 0$  y

$$c_{ci} = -d_i \quad (\text{puntos de una medida})$$

$$c_{ci} = -\bar{d}_i \quad (\text{punto de } J \text{ medidas})$$

## 6. RESULTADOS

Los resultados de la calibración se refieren a 20 °C, y a la misma temperatura se encuentran referidos los certificados de los patrones utilizados. Dichos resultados se concretan en la corrección y su incertidumbre en cada uno de los puntos de calibración. Estas correcciones suelen denominarse locales para distinguirlas de una corrección global que sería aplicable a las medidas del instrumento en cualquier punto de su escala.

La forma de establecer la corrección global y su incertidumbre no es objeto de consideración en el presente procedimiento de calibración.

Las correcciones de calibración expresan fundamentalmente la discrepancia entre los valores de los patrones y las indicaciones del instrumento al medir dichos patrones, apartado 5.4, aunque es frecuente incorporar otras contribuciones como más adelante se indica. Cada corrección ha de acompañarse de su correspondiente incertidumbre.

Una eventual corrección por temperatura debería tener en cuenta la dilatación diferencial entre los diferentes elementos que intervienen en la calibración. Esta dilatación es mucho menos influyente en los ángulos que en las longitudes por lo que asegurando una buena estabilidad térmica (5.2.4) no se consideran contribuciones debidas a la temperatura.

Los valores asignados a los patrones deben corresponder a las condiciones de uso en la calibración por lo que deberá justificarse si se aplican, o no, correcciones por deriva. En el presente modelo no se han tenido en cuenta por considerar que las variaciones correspondientes ya están incorporadas en la incertidumbre que se utiliza para cada BPA.

Las desviaciones de rectitud y paralelismo no son traducibles a desviaciones angulares realistas con los modelos habituales. No obstante, y al objeto de asignar una contribución por estas desviaciones, se ha estimado una contribución máxima a partir del valor límite que la tolerancia permite para  $D_R$ , lo que supone admitir que las desviaciones máximas de forma no se presentan entre puntos separados menos de 100 mm.

No se consideran otras correcciones distintas de las indicadas, lo que no exime al responsable de la calibración del transportador de tener en cuenta correcciones adicionales si sus condiciones de trabajo así lo aconsejasen.

### 6.1. Cálculo de incertidumbres

Utilizando letras mayúsculas para las variables aleatorias que representan el mensurando, de acuerdo con las referencias [3] y [4], cada una de las correcciones locales responde al siguiente modelo:

$$C_i = C_{ci} + C_{CE} + C_E$$

donde:

$$C_{ci} = A_{pi} - \bar{A}_i \text{ (punto de } J \text{ medidas)}$$

$$C_{ci} = A_{pi} - A_i \text{ (puntos de una medida)}$$

representan las correcciones de calibración  $c_{ci}$  determinadas en el apartado 5.4.

Por consiguiente, el modelo resultante es:

$$C_i = A_{pi} - \bar{A}_i + C_F + C_E \text{ (punto de } J \text{ medidas)}$$

$$C_i = A_{pi} - A_i + C_F + C_E \text{ (puntos de una medida)}$$

La incertidumbre típica del patrón en el punto  $i$  de calibración ( $i = 1$  a  $l$ ) es  $u_{pi}$ , valor correspondiente al del BPA, o composición de BPA.

La varianza de la media de las indicaciones del transportador en el punto de repetibilidad es, según 5.4.2 o 5.4.3,  $s_i^2/J$ . En los restantes puntos el valor estimado es  $s_i^2$ .

La desviación imputable a la irregularidad de los filos se introduce mediante una corrección de media nula,  $C_F$ , con distribución uniforme en  $\pm 2D_{R\text{máx}}/100$  rad ( $D_{R\text{máx}}$  en mm), y desviación típica:

$$u(c_F) = \frac{2D_{R\text{máx}}}{100\sqrt{3}} = \frac{D_{R\text{máx}}(\text{mm})}{50\sqrt{3}} \text{ rad} = \frac{D_{R\text{máx}}(\text{mm}) \cdot 180 \cdot 60}{50\sqrt{3} \cdot \pi} \approx [40D_{R\text{máx}}(\text{mm})]'$$

La contribución debida a las lecturas del transportador de ángulo según un múltiplo de la división de escala, se introduce con una corrección de media nula,  $C_E$ , cuya varianza se obtiene de la hipótesis de distribución uniforme en un intervalo  $\pm E/2$  siendo  $E$  la división de escala del transportador.

$$u(c_E) = \frac{E/2}{\sqrt{3}} = \frac{E}{\sqrt{12}}$$

Los estimadores de las variables y sus incertidumbres típicas se pueden recoger en forma de tabla según formato recomendado en la ref. [4].

En la tabla 1 se presentan los resultados para el punto de repetibilidad.

La expresión de  $U^2$  para la corrección del punto de repetibilidad queda de la forma:

$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^4 u_m^2(c_i) = k^2 \left( u_{pi}^2 + \frac{s_i^2}{J} + 1600 \cdot D_{R\text{máx}}^2(\text{mm}) + \frac{E^2}{12} \right) \quad (1)$$

donde el subíndice  $m$  representa las filas de la tabla 1 y cada sumando se expresa en minutos cuadrados.

**Tabla 1: Contribuciones a la incertidumbre combinada de las correcciones locales en el punto de repetibilidad**

Magnitud $X_m$	Estimación $x_m$	Incertidumbre típica $u(x_m)$	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad $c_m$	Contribución a la incertidumbre $u_m(c_i)$
$A_{pi}$	$\alpha_{pi}$	$u_{pi}$	Normal	1	$u_{pi}$
$\bar{A}_i$	$\bar{\alpha}_i$	$\frac{s_i}{\sqrt{J}}$	Normal	-1	$-\frac{s_i}{\sqrt{J}}$
$C_F$	0	$[40D_{R\text{máx}}(\text{mm})]'$	Rectangular	1	$[40D_{R\text{máx}}(\text{mm})]'$
$C_E$	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	Uniforme	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$

$C_i$	$c_i = \sum_m x_m$	Incertidumbre combinada ( $u$ )		$u = \sqrt{\sum_m u_m^2(c_i)}$	
		Incertidumbre expandida ( $U$ )		$U = k \cdot u$	

La tabla 2 recoge los resultados en los puntos de una medida, en los que la expresión de  $U^2$  para la corrección se expresa, análogamente, en la forma:

$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^4 u_m^2(c_i) = k^2 \left( u_{pi}^2 + s_i^2 + 1600 \cdot D_{R\text{máx}}^2 (\text{mm}) + \frac{E^2}{12} \right) \quad (2)$$

donde el subíndice  $m$  representa las filas de la tabla 2 y cada sumando tiene dimensiones de minutos cuadrados.

**Tabla 2: Contribuciones a la incertidumbre combinada de las correcciones locales en los puntos de una medida**

Magnitud $X_m$	Estimación $x_m$	Incertidumbre típica $u(x_m)$	Distribución de probabilidad	Coefficiente de sensibilidad $c_m$	Contribución a la incertidumbre $u_m(c_i)$
$A_{pi}$	$\alpha_{pi}$	$u_{pi}$	Normal	1	$u_{pi}$
$A_i$	$\alpha_i$	$s_i$	Normal	-1	$-s_i$
$C_F$	0	$[40D_{R\text{máx}}(\text{mm})]'$	Rectangular	1	$[40D_{R\text{máx}}(\text{mm})]'$
$C_E$	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	Uniforme	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$
$C_i$	$c_i = \sum_m x_m$	<b>Incertidumbre combinada (<math>u</math>)</b>	$u = \sqrt{\sum_m u_m^2(c_i)}$		
		<b>Incertidumbre expandida (<math>U</math>)</b>	<b><math>U = k \cdot u</math></b>		

De acuerdo con el apartado F.2.4.5 de la referencia [3], es posible estimar una corrección única aplicable a toda la escala del instrumento que suele denominarse corrección global.

## 6.2. Interpretación de resultados

La información mínima que debe figurar en el Certificado de Calibración es la correspondiente a las correcciones e incertidumbres locales del apartado 6.1.

De acuerdo con la referencia [3], las contribuciones tipo A son suficientemente fiables cuando proceden de diez o más medidas repetidas, lo que se satisface en el modelo propuesto. EA recomienda el uso de una incertidumbre expandida que se corresponda con una probabilidad de recubrimiento del 95%, lo que puede conseguirse con un factor de cobertura  $k = 2$  en la mayor parte de los casos. Para ello es suficiente combinar tres o más distribuciones que contribuyan a la incertidumbre típica compuesta en cuantías similares y que las varianzas de las mismas se estimen de forma suficientemente fiable.

En la calibración considerada, la determinación de cada corrección local utiliza un mínimo de cuatro contribuciones (tablas 1 y 2), pudiendo ocurrir que las contribuciones más importantes no resulten sensiblemente similares por lo que la adopción de una función de densidad normal para el resultado es poco fiable. No obstante, si una contribución es claramente dominante sobre las demás y su distribución es normal, la hipótesis de normalidad es aceptable. En otros casos habría que obtener la función de distribución a la que realmente responde el resultado y determinar el factor de cobertura para una probabilidad del 95% con dicha distribución.

La referencia [3] no permite redondeos que disminuyan el valor de la incertidumbre más de un 5%. En todo caso, es conveniente aplicar el redondeo de la incertidumbre por exceso cuando se aprecie un desequilibrio importante en el valor de sus contribuciones.

Como el valor resultante de las medidas con un transportador de ángulo debe expresarse en múltiplos de la división de escala del instrumento, así como la incertidumbre de aquél valor, es conveniente que las correcciones locales y sus incertidumbres se ofrezcan con una cifra decimal respecto al valor de la división de escala, de forma que el redondeo a la división de escala se produzca al final del proceso de elaboración del resultado.

Con carácter orientativo, puede establecerse un intervalo de recalibración de 36 meses para transportadores de ángulo que se usen en laboratorios y puede aconsejarse un intervalo de 6 meses para transportadores que se utilicen en peores condiciones.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Procedimiento para la elaboración de procedimientos de calibración. Grupo de Trabajo MINER-CEM. Ed. 2, Tres Cantos, Madrid. Año 2000.
- [2] Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados. 3ª edición 2012 (Ed. VIM 2008 con inclusión de pequeñas correcciones), Centro Español de Metrología, 2012.
- [3] Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida., 3ª ed. en español (traducción de 1ª ed. 2008 en inglés), Centro Español de Metrología, 2009, NIPO: 706-09-002-6.
- [4] Guide EA-4/02 M: 2013, Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Sept. 2013, rev. 01.
- [5] Clasificación de Instrumentos de Metrología Dimensional. 1ª ed. Centro Español de Metrología, 2005, NIPO: 165-02-003-4.
- [6] Proceso de Calibración D-020 para transportadores de ángulo. Sistema de Calibración Industrial (SCI). Ed. inicial, 4 páginas, 1988, Madrid.
- [7] UNE 82309-1:1999, Mesas de planitud. Parte 1: Acero fundido.
- [8] UNE 82309-2:1997, Mesas de planitud. Parte 2: Granito.

## 8. ANEXOS

### 8.1. Ejemplo numérico

Se recoge el resultado de la calibración de un transportador de ángulo con división de escala  $E = 1'$ , campo de medida  $C = 0^\circ$  a  $360^\circ$  y reglas de doble filo, ambas de 300 mm.

La temperatura de la sala se ha mantenido durante la calibración entre  $19,5^\circ\text{C}$  y  $21,0^\circ\text{C}$ .

Las desviaciones de rectitud para los fillos de las reglas no superan los  $19\ \mu\text{m}$  y las de paralelismo son inferiores a  $28\ \mu\text{m}$ , por lo que satisfacen las tolerancias del apartado 5.3.1.

Como patrones se han empleado dos bloques patrón angulares de 30° y 90° y una mesa de planitud de calidad 0. De esta forma se materializan doce puntos de calibración separados 30° entre 0° y 330° (I=12).

Los puntos de calibración se obtienen con los siguientes patrones:

Nominal de calibración	Patrones
0°	Ninguno
30°, 150°, 210° y 330°	BPA 30°
60° y 240°	BPA (90°-30°)
120° y 300°	BPA (90°+30°)
180°	MP

La repetibilidad (J=10) se ha efectuado en el punto (i=5) de nominal 120°.

Los BPA presentan desviaciones al nominal inferiores en valor absoluto a 5", con incertidumbres certificadas ( $k = 2$ ) de 5", por lo que se decide trabajar con sus nominales y adoptar como incertidumbre típica de los BPA  $u_{pi} = 10"/\sqrt{3} \cong 0,1'$ .

Cuando se componen los dos BPA, la incertidumbre típica del patrón resultante es de 0,2'.

De acuerdo con lo indicado en 6.1, la contribución por irregularidad de los filis es:

$$u(c_F) = [40D_{Rm\acute{a}x} (\text{mm})]' = (40 \times 0,01)' = 0,40'$$

En el punto de nominal 180°, el patrón que materializa la MP se estima con una calidad similar a la de las reglas del transportador, es decir, con incertidumbre típica de  $0,02/100\sqrt{3}$  radianes, o sea 0,40'.

En resumen, el modelo resultante para las correcciones locales que se utiliza es:

$$C_i = A_{pi} - \bar{A}_i + C_F + C_E \quad (i=5)$$

$$C_i = A_{pi} - A_i + C_F + C_E \quad (i \neq 5)$$

En la tabla 3 se recogen los valores de los patrones y de las mediciones efectuadas. Las tres últimas filas de la tabla 3 contienen, respectivamente y para cada punto de calibración, el valor estimado para la corrección local, el de su incertidumbre típica y la estimación de su incertidumbre expandida.

La incertidumbre expandida ( $k = 2$ ) para la corrección de cada punto calibrado que figura en la última fila de dicha tabla 3, responde a la expresión (1) de 6.1 para el punto de repetibilidad (i=5), y a la expresión (2) en los demás puntos, es decir:

$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^4 u_m^2(c_i) = k^2 \left( u_{pi}^2 + \frac{s_i^2}{J} + 1600 \cdot D_{Rm\acute{a}x}^2 (\text{mm}) + \frac{E^2}{12} \right) \quad (i=5)$$

$$U_i^2 = k^2 \sum_{m=1}^4 u_m^2(c_i) = k^2 \left( u_{pi}^2 + s_i^2 + 1600 \cdot D_{Rm\acute{a}x}^2 (\text{mm}) + \frac{E^2}{12} \right) \quad (i \neq 5)$$

**Tabla 3: Toma y tratamiento de datos.**

Campo de medida: C=0° a 360°	División de escala: E=1'							Valores en grados y minutos sexagesimales				
	00°00'	30°00'	60°00'	90°00'	120°00'	150°00'	180°00'	210°00'	240°00'	270°00'	300°00'	330°00'
Valor del patrón	0,00	0,10	0,20	0,10	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20
Incertidumbre típica del patrón: $u_{pi}$ ( ' )	1	1	-1	-2	2	5	1	-1	2	2	0	-2
Medidas del transportador sobre el patrón: desviación al nominal $d_{ij}$ ( ' )					2 2 2 1 2							
Desviación media al nominal: $\bar{d}_i$ ( ' )	1,0	1,0	-1,0	-2,0	1,8	5,0	1,0	-1,0	2,0	2,0	0,0	-2,0
Desv. típica: $s_i$ ( ' )	---	---	---	---	0,42	---	---	---	---	---	---	---
Corrección local: $c_i$ ( ' )	-1,0	-1,0	1,0	2,0	-1,8	-5,0	-1,0	1,0	-2,0	-2,0	0,0	2,0
Inc. típica de la corr. local: $u(c_i)$ ( ' )	0,65	0,66	0,68	0,66	0,55	0,68	0,76	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
Inc. expand. de la corr. local ( $k = 2$ ): $U_i$ ( ' )	1,3	1,3	1,4	1,3	1,1	1,4	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4

Para cada uno de los puntos de calibración cabe elaborar una tabla similar a la tabla 1 o a la tabla 2. La tabla 4 es la tabla correspondiente al punto de calibración ( $i=3$ ) de nominal  $60^\circ$ .

**Tabla 4: Contribuciones a la incertidumbre combinada de la corrección local en el punto de calibración de nominal  $60^\circ$**

Magnitud	Estimación	Incert. típica	Distribución de probabilidad	Coef. de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
$X_m$	$x_m$	$u(x_m)$		$c_m$	$u_m(c)$
$A_{pi}$	$60^\circ$	0,20	Normal	1	0,20
$A_i$	$59^\circ$	0,42	Normal	-1	-0,42
$C_F$	0	0,40	Rectangular	1	0,40
$C_E$	0	0,29	Rectangular	1	0,29
$C_i$	<b>1,0°</b>	Incertidumbre combinada ( $u$ )			0,66
		Incertidumbre expandida ( $U$ )			<b>1,32</b>

(Todos los valores de incertidumbre en minutos sexagesimales)

En el punto ( $i = 3$ ) de nominal  $60^\circ$ , la corrección necesaria es  $C_i = 1,0'$  y su incertidumbre:

$$U_i(k = 2) = 1,3'$$

para una probabilidad de cobertura del 95%, aproximadamente. Ambos resultados se han redondeado a las décimas de minuto sexagesimal.

# Metrología

NIPO: 113-19-006-0