

OBJETO.

El objeto del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es definir la pauta utilizada en el software CALIBRO para la calibración de polígonos patrón, que se deriva de los procesos de calibración D-019, de forma que permitan obtener resultados trazables y homogéneos.

CAMPO DE APLICACIÓN.

Estos patrones son normalmente de acero, aunque pueden ser también de vidrio, total o parcialmente, y se fabrican, a partir de cuatro lados, con número siempre par, hasta valores elevados, del orden de 72 lados o más, para aplicaciones especiales, siendo lo más corriente un número del orden de $N=4, 6, 8, 12$ lados.

PROCESO DE CALIBRACIÓN.

Una vez limpias las caras de medida del polígono patrón y antes de iniciar la calibración, deberá realizarse una inspección visual de las mismas, para comprobar su correcto estado de conservación, sin arañazos, deformaciones locales, manchas de oxidación, etc.

La calibración se realizará mediante dos autocolimadores de alta precisión, con divisiones de escala máximas $E = 0,1''$; normalmente estos colimadores de tan pequeñas divisiones de escala, son de tipo fotoeléctrico, realizando el enrase de lectura de forma automática. Si los autocolimadores empleados fuesen de diferentes divisiones de escala, debe colocarse el que más aprecia para el enrase a cero y el que menos aprecia, para la medida propiamente dicha, de acuerdo con la descripción que a continuación se realizará.

Como elementos auxiliares, se necesita disponer también de un plato giratorio y una mesa nivelante en dos direcciones a 90° entre si, pero no se establece ninguna especificación de los mismos, porque, como tales elementos auxiliares de la calibración, no intervienen en el cálculo de la incertidumbre resultante.

Es también necesario disponer de una base amplia, para la colocación de todos estos instrumentos, que se encuentre bien aislada de vibraciones mecánicas; lo más adecuado al respecto, es una mesa de planitud de granito, suficientemente amplia y con patas de apoyo antivibratorias.

La numeración de los ángulos diedros del patrón, todos ellos de igual valor nominal, es imprescindible para poder identificar cada uno de ellos individualmente y poder certificar los correspondientes valores angulares convencionalmente verdaderos, como resultado de las operaciones de calibración.

A tal efecto se admitirá cualquier sistema de identificación suficiente, siendo lo más usual que el patrón lleve grabados, en una de sus bases, números o letras consecutivos de una de las dos formas siguientes (fig. 1):

- En los vértices del polígono. En este caso, el número o letra identifica directamente al ángulo.
- En los centros de las aristas del polígono. En este caso, cada ángulo queda identificado mediante la pareja de números o letras de sus dos aristas adyacentes.

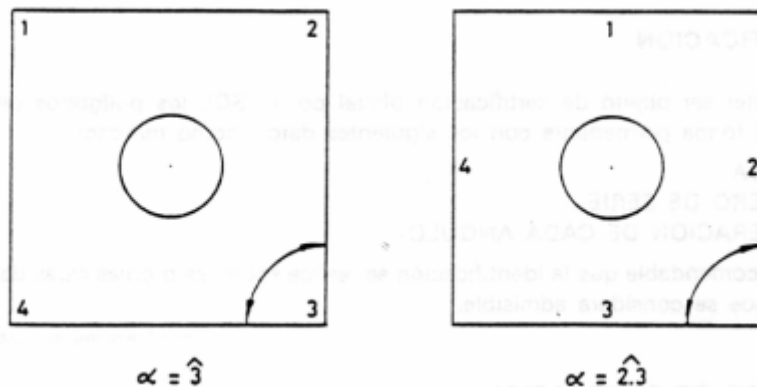
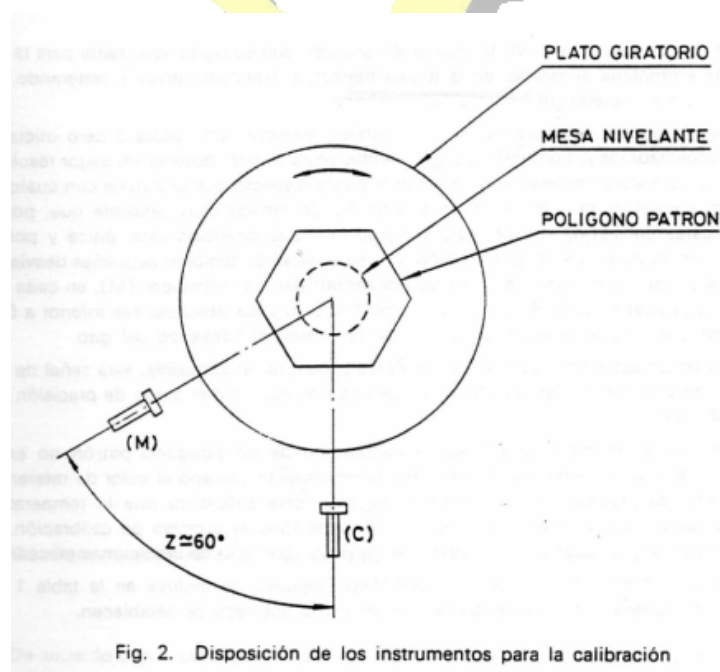


Fig. 1. Sistemas de identificación de polígonos patrón

Es conveniente que los autocolimadores posean también bases soporte regulables, tanto en altura como en orientación, las cuales suelen ser un accesorio normal de los mismos.

Se sitúa el polígono, convenientemente sujeto, sobre la mesa nivelante y ésta, aproximadamente centrada y también adecuadamente sujeta, sobre el plato giratorio, todo ello a su vez, sobre la superficie de la mesa de planitud; a continuación, se sitúan sobre dicha superficie los dos autocolimadores, formando un ángulo Z , aproximadamente igual al valor suplementario del nominal de los ángulos del polígono (figura 2).



Uno de los dos autocolimadores sólo realizará funciones de enrase de cero (C) y el otro será el que realice las medidas (M), pero han de ser ambos de similares características de precisión, pues ambas operaciones influyen de igual forma en la incertidumbre final a obtener.

Se comienza por actuar sobre la mesa nivelante, a fin de situar lo más paralelos posible, el eje del polígono patrón y el eje de giro del plato; para ello se enrasa una de las caras del polígono con el autocolimador (lo que significa que el eje del autocolimador se encuentra perpendicular a dicha cara) y se da un giro de 180°, enrasando la cara diametralmente opuesta y corrigiendo el posible desvío de la escala vertical de lectura (retículo horizontal), la mitad con la mesa nivelante y la mitad con la base del autocolimador; este proceso se reitera hasta obtener la mejor concordancia posible.

A continuación, se enrasan las posiciones de ambos autocolimadores, mediante sus bases de regulación, de forma que ambos ejes queden perpendiculares a dos caras contiguas del polígono patrón; evidentemente, el ángulo Z entre ambos ejes, que ya no se va a modificar en todo el proceso de calibración, además de ser aproximadamente igual al valor suplementario del nominal de los ángulos del polígono, se hace igual a uno de dichos ángulos suplementarios, arbitrariamente elegido.

Se procede a girar suavemente el plato giratorio, hasta que la cara inicialmente enfrentada al autocolimador (M), pase a ser enrasada, en la escala horizontal (retículo vertical) del autocolimador (C) y se lee en (M) la desviación angular, con su signo, resultante para la cara actualmente enfrentada al mismo, en la escala horizontal (retículo vertical), reiterando esta operación hasta completar un giro total del polígono.

A su vez, pueden realizarse varios giros totales, siempre con puesta a cero inicial de ambos autocolimadores y, por tanto, independientes entre sí, para obtener un mejor resultado de calibración, siendo completamente indiferente a este respecto que se trabaje con cualquiera de los dos sentidos de giro del plato divisor. Ha de tenerse muy presente que, por no formar las caras del patrón, un poliedro perfecto con una dirección axial única y por las imperfecciones inevitables en toda medición real, se observarán también pequeñas desviaciones de la escala de medida vertical (retículo horizontal) del autocolimador (M), en cada giro parcial. Estas desviaciones se despreciarán siempre que su valor absoluto sea inferior a 5'' y, en caso contrario, habrá de repetirse la calibración, desde el comienzo del giro.

www.gesdocal.es

Si persistiesen estas desviaciones, con valores superiores al admisible, será señal de que el polígono patrón no se encuentra suficientemente bien construido, para el grado de precisión que se desea obtener.

Por tratarse de medidas angulares, la calibración de un polígono patrón no exige mantener un valor de la temperatura ambiente excesivamente cercano al valor de referencia, pese a la elevada precisión de los mismos. Se considera suficiente que la temperatura permanezca dentro del intervalo de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, durante todo el proceso de calibración. Se reitera, sin embargo, la necesidad de eliminar al máximo, todo tipo de vibraciones mecánicas.

El número mínimo de giros de calibración aconsejables, se incluye en la tabla 1 del apartado 6, de acuerdo con las calidades que en dicho apartado se establecen.

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN.

Se denominan, de acuerdo con la figura 3, comenzando siempre con el ángulo 1 entre los autocolimadores y girando en sentido creciente:

N = Número de lados del polígono.

i = Números consecutivos de los lados del polígono ($i = 1$ a N).

N_j = Número de giros de calibración a realizar ($N_j = 2$ a 10).

α_{ij} = Resultado de calibración del ángulo i en el giro j .

β_{ij} = Resultado de calibración del ángulo suplementario de i en el giro j .

$\bar{\alpha}_i$ = Resultado final de calibración del ángulo i .

$\bar{\beta}_i$ = Resultado final de calibración del ángulo suplementario de i .

δ_{ij} = Desviación angular medida en la escala horizontal (retículo vertical) del autocolimador (M), correspondiente a la posición i (ángulo i entre los dos autocolimadores, del giro j).

$$\alpha_{ij} = \beta_{ij} = 180^\circ$$

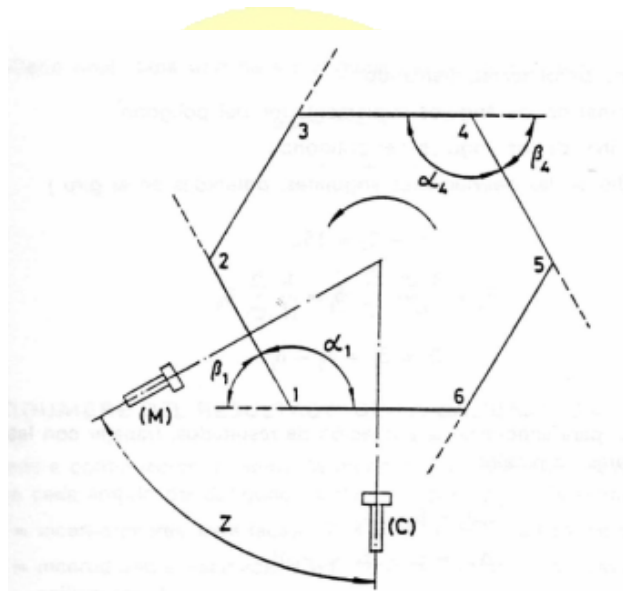


Fig. 3 Denominaciones angulares correspondientes a la posición Inicial de un giro de calibración.

De acuerdo con la descripción realizada, para la posición de partida será siempre $\delta_{ij} = 0''$, la cual es una desviación como las demás que se obtengan.

Para cualquier lectura, resulta ser:

$$\delta_{ij} = \beta_{ij} - Z$$

Realizando la suma de todas las desviaciones angulares, correspondientes al giro j :

$$\sum_{i=1}^N \delta_{ij} = 360^\circ - NZ$$

Lo cual permite expresar el ángulo Z en función de las indicaciones de calibración:

$$Z = \frac{360^\circ}{N} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{ij}$$

Y ello permite entonces obtener cada ángulo β_{ij} , a partir de la primera de las expresiones obtenidas, como:

$$\beta_{ij} = \delta_{ij} + Z = \frac{360^\circ}{N} + \delta_{ij} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{ij}$$

Esta expresión puede simplificarse, llamando:

β_o = Valor nominal de los ángulos suplementarios del polígono.

α_o = Valor nominal de los ángulos del polígono.

$\bar{\delta}_j$ = Valor medio de las desviaciones angulares, obtenidas en el giro j .

$$\begin{aligned} \alpha_o + \beta_o &= 180^\circ \\ \beta_o &= \frac{360^\circ}{N} ; \quad \bar{\delta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{ij} \\ \beta_{ij} &= \beta_o + \delta_{ij} - \bar{\delta}_j \end{aligned}$$

Suele ser costumbre, para simplificar la anotación de resultados, trabajar con las diferencias angulares a los valores nominales:

$$\begin{aligned} \Delta\beta_{ij} &= \beta_{ij} - \beta_o \\ \Delta\alpha_{ij} &= \alpha_{ij} - \alpha_o = -\Delta\beta_{ij} \end{aligned}$$

www.gesdocal.es

Con lo cual:

$$\Delta\beta_{ij} = \delta_{ij} - \bar{\delta}_j$$

De acuerdo con las calidades de estos polígonos (apartado 6, tabla 1 del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN), deben realizarse entre 2 y 10 giros totales, procediéndose, por último, a calcular las diferencias angulares medias a los valores nominales:

$$\Delta\beta_i = \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} \Delta\beta_{ij} = \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} (\delta_{ij} - \bar{\delta}_j) = \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} \delta_{ij} - \frac{1}{NN_j} \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{i=1}^N \delta_{ij}$$

Llamando $\bar{\delta}$ a la media total de todas las desviaciones angulares de calibración (las de todas las posiciones i , en todos los giros j):

$$\bar{\delta} = \frac{1}{NN_j} \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{i=1}^N \delta_{ij}$$

$$\Delta \bar{\beta}_i = \beta_i - \beta_o = \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} \delta_{ij} - \bar{\delta}$$

$$\Delta \bar{\alpha}_i = -\Delta \bar{\beta}_i = \bar{\delta} - \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} \delta_{ij}$$

Y como resultado final, cada uno de los ángulos del polígono patrón, toma el valor:

$$\Delta \bar{\alpha}_i = \bar{\delta} - \bar{\delta}_i$$

$$\bar{\alpha}_i = \alpha_o + \bar{\delta} - \bar{\delta}_i$$

Siendo:

$$\bar{\delta}_i = \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} \delta_{ij}$$

INCERTIDUMBRE DEL RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN.

Se procede a continuación a estimar la incertidumbre que puede asociarse al resultado obtenido para cada ángulo del polígono patrón, de acuerdo con la siguiente nomenclatura:

u_{o1}, u_{o2} = Incertidumbres, para factor /2/ k=1 y n=1 medida, de cada autocolimador.

u_{δ} = Incertidumbre estimada, para factor k=1, de cada desviación angular de calibración δ_{ij} .

U = incertidumbre estimada, para factor k=1, de cada resultado final $\bar{\alpha}_i$.

www.gesdocal.es

Para obtener cada una de las desviaciones angulares δ_{ij} , ha de hacerse en engrase con el autocolimador © y una medida con el autocolimador (M); se aceptará que la incertidumbre del engrase de cero influye de forma similar a la propia medición y con ello:

$$U_{\delta}^2 = U_{o1}^2 + U_{o2}^2$$

Se aceptará también el criterio de disminución inversamente proporcional de las varianzas de incertidumbre con el número de medidas, hasta un máximo de 10 medidas (este criterio que puede disminuir excesivamente el valor de la incertidumbre, se compensará posteriormente con la adopción de otro criterio de tipo B /2/, al establecer el valor final de la misma). De esta forma:

$$U^2 = \frac{U_{o1}^2 + U_{o2}^2}{NN_j} + \frac{U_{o1}^2 + U_{o2}^2}{N_j} = \frac{U_{o1}^2 + U_{o2}^2}{N_j} \left(1 + \frac{1}{N} \right)$$

Se impone además la condición complementaria de que la incertidumbre así resultante sea siempre mayor, para factor k=2, que la mayor división de escala E de los dos autocolimadores empleados:

$$E = \text{MAX} (E_1, E_2)$$

$$U \geq E/2$$

De acuerdo con la elevada categoría metrológica de este tipo de patrones, se certificará la incertidumbre de cada uno de sus ángulos con un factor $k=3$. La condición anterior y el presente criterio, vienen a compensar la posible disminución excesiva de la incertidumbre, anteriormente citada. Con ello:

$$I = \sqrt{\frac{9}{N_j} \left(1 + \frac{1}{N}\right) (U_{o1}^2 + U_{o2}^2)} \geq 1,5 E$$

Si, como ocurre generalmente, se utilizan dos autocolimadores de igual precisión:

$$I = U_o \sqrt{\frac{18}{N_j} \left(1 + \frac{1}{N}\right)} \geq 1,5 E$$

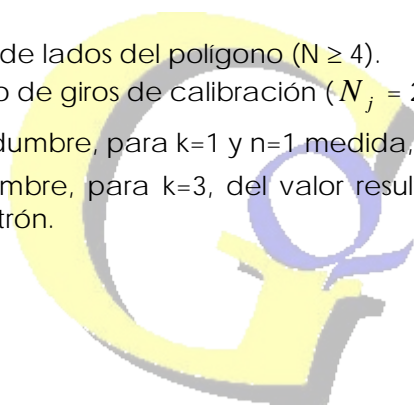
en donde:

N = Número de lados del polígono ($N \geq 4$).

N_j = Número de giros de calibración ($N_j = 2$ a 10).

U_o = Incertidumbre, para $k=1$ y $n=1$ medida, de cada autocolimador.

I = Incertidumbre, para $k=3$, del valor resultante para cada ángulo del polígono patrón.



www.gesdocal.es



Procedimiento de calibración de polígonos patrón 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.