

OBJETO

El objeto del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es definir la pauta utilizada en el software CALIBRO para la calibración de proyectores de perfiles de eje vertical y horizontal, que se deriva de los procesos de calibración SCI D-025, de forma que permitan obtener resultados trazables y homogéneos.

CAMPO DE APLICACIÓN

Desde el punto de vista de su calibración, conviene considerar las siguientes características de estos instrumentos:

- **Sistemas de iluminación.** Además del sistema habitual de PROYECCIÓN (episcópico), en el que el haz luminoso incide sobre la pieza, proyectando su contorno en la pantalla, casi todos los proyectores de perfiles suelen disponer, complementariamente, de otro sistema de REFLEXIÓN (diascópico), en el que el haz luminoso incide sobre una cara suficientemente plana y pulida de la pieza, reflejando su imagen en la pantalla. Aunque este segundo sistema de iluminación es siempre de menor precisión, en caso de disponer de él, obliga a una calibración diferente a la del sistema de proyección.
- **Eje de iluminación.** El haz luminoso, al incidir sobre el mesurando, puede hacerlo con su eje en posición vertical (proyector de eje vertical) o en posición horizontal (proyector de eje horizontal).

Los PROYECTORES DE EJE VERTICAL, trabajan mediante mesas de sustentación de la pieza sobre un cristal, a través del cual prosigue su camino el haz luminoso. Se trata entonces de instrumentos con campos de medida pequeños (hasta 0,2 ó 0,3 metros como máximo, en cada eje de medida), adecuados a piezas pequeñas y ligeras, siendo en cambio los de mayor precisión; en ellos los dos ejes longitudinales de medida se denominan X e Y, utilizándose el eje Z para el enfoque.

Los PROYECTORES DE EJE HORIZONTAL, poseen mesas de sustentación más grandes; estas mesas de acero, son robustas, con ranuras y elementos de fijación para el posicionamiento rígido de los mesurandos. El haz pasa sobre la pieza, continuando su camino hacia la pantalla y, a veces, para facilitar las observaciones del operador sobre la misma, todo el sistema de sustentación e iluminación se encuentran situados en un lateral del instrumento. Se trata ahora de proyectores con campos de medida mayores (hasta 0,5 metros ó más), adecuados a piezas grandes y pesadas, pero con precisiones peores; en ellos, los dos ejes longitudinales de medida se denominan X y Z, utilizándose el eje Y para enfoque.

- **Escalas de medición.** Por último, los proyectores de perfiles, además de dos ejes con escalas de medida longitudinales, suelen tener su pantalla giratoria sobre una tercera escala angular.

Hay otra serie de características que no inciden en los procesos de calibración a seguir, como son el tipo de lecturas de las escalas, digital o analógica, la posibilidad de realizar la medida con captadores ópticos (paso luz - sombra) en vez de directamente por el ojo del operador, los transductores de las escalas de medida, cabezas micrométricas mecánicas, reglas patrón electrónicas, etc.

Puede decirse que se trata en general de unos instrumentos de medida muy corrientes y versátiles, que permiten realizar fácilmente gran cantidad de medidas,

con precisiones de tipo medio, lo que les hace ser uno de los elementos indispensables en cualquier centro de medida o control. Para ellos se empleará en el presente proceso de calibración, un factor de incertidumbre (2), $k=2$, pudiéndose pasar muy sencillamente a cualquier otro valor, si se considera oportuno.

PROCESOS, RESULTADOS E INCERTIDUMBRES DE CALIBRACIÓN

Los proyectores de perfiles poseen diferentes ampliaciones ópticas, desde 5 ó 10 veces hasta 100 ó 200 veces, como regla general, trabajándose normalmente con valores del orden de 20 ó 25 veces; estas ampliaciones permiten ver más en detalle los perfiles de las piezas y facilitar los enrasos sobre ellas.

Aunque de forma rigurosa habría de procederse a la calibración del proyector para cada una de las ampliaciones de que se dispone, se admite como suficiente realizarla con una sola de ellas cada vez, a condición de ir variándola para que, a lo largo del tiempo, se calibre con todas las existentes; naturalmente, en la primera calibración, de recepción, se realizará la calibración completa, para todas las ampliaciones posibles.

Sistema de proyección.

Escalas de medidas longitudinales. Estas escalas se calibran mediante bloques patrón longitudinales, pudiéndose emplear a este respecto cualquiera de las calidades normalizadas, pues poseen precisiones suficientes en todo caso. Pueden también emplearse reglas patrón de trazos de vidrio transparente, siempre que la posición de estos se asegure por lo menos con incertidumbres de un micrómetro.

En los proyectores grandes, de escalas superiores a 0,3 metros, pueden presentarse dificultades en la nivelación y enrase de los bloques mayores, por lo que podrían utilizarse, alternativamente, barras patrón de extremos esféricos o bien realizar una calibración mixta, mediante un bloque pequeño para un punto de la escala, más un láser de medida por desplazamientos para toda la escala. Se analizan por separado las dos posibilidades planteadas.

Calibración con bloques patrón longitudinales, reglas patrón de trazos o barras patrón de extremos esféricos.

Con independencia del tipo de patrón utilizado, que incluso podrían combinarse (bloques para los puntos iniciales y barras para los puntos finales de la escala), se realizarán 10 medidas de cada patrón, en 10 puntos, aproximadamente equidistantes, de cada una de las dos escalas longitudinales del instrumento.

En esta calibración no tiene sentido incluir el punto cero, pues cada medida se obtiene por diferencia de dos lecturas, pero si es recomendable realizar todas las medidas de calibración a partir de dicho punto cero, aproximadamente; a este respecto, se considera suficiente con que las lecturas correspondientes al cero se encuentren siempre por debajo de 1 mm. en estas condiciones, se considerará que el valor obtenido como diferencia de dos lecturas, es una indicación de medida directa. La metodología se simplifica cuando se dispone de lector con posibilidad de puesta a cero arbitraria (lo cual no debe hacer olvidar la condición impuesta de que el primer enrase o lectura, se produzca siempre dentro del primer milímetro).

Se llamarán:

X_{ij} = medida de orden i , en el punto de calibración j ($i=1$ a 10 ; $j=1$ a 10). Según que las medidas se realicen sobre los ejes X , Y ó Z , estos valores serán X_{ij} , Y_{ij} , ó Z_{ij} , pero para los cálculos a realizar en el presente proceso, se trabajará siempre sobre el eje X , extendiendo posteriormente los resultados, como corresponda.

N_c = número de reiteraciones i , en cada punto de calibración; para el presente proceso, $N_c=10$, porque, si se emplease algún tipo de criterio de rechazo de las indicaciones, se repetirán las necesarias para disponer siempre de 10 en cada punto.

N_j = número de puntos de calibración j ; para el presente proceso, $N_j = 10$.

X_{oj} = valor verdadero del patrón empleado en el punto j de calibración.

U_{oj} = incertidumbre, para $k=1$, del patrón empleado en el punto j de calibración.

A partir de estas indicaciones de calibración, se calculan los siguientes parámetros:

$$\bar{X}_j = \frac{1}{N_c} \cdot \sum_{i=1}^{N_c} X_{ij} = \frac{1}{10} \cdot \sum_{i=1}^{10} X_{ij}$$

$$\Delta \bar{X}_j = X_{oj} - \bar{X}_j$$

$$S_j^2 = \frac{1}{N_x - 1} \cdot \sum_{i=1}^{N_c} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 = \frac{1}{9} \cdot \sum_{i=1}^{10} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

en donde:

X_j = Valor medio de calibración, en el punto j .

$\Delta \bar{X}_j$ = corrección de calibración, en el punto j .

S_j = desviación típica de calibración, en el punto j .

Y con ellos se establecerá la ecuación de incertidumbre del eje X , para un factor $K=2$ y un número de medidas n , mediante la expresión:

$$I_{xj}^2 = K^2 \cdot u_{oj}^2 + K^2 \cdot S_j^2 \cdot \left(\frac{1}{N_c} + \frac{1}{n} \right) + \Delta \bar{X}_j^2 =$$

$$= 4 \cdot u_{ok}^2 + 4 \cdot S_j^2 \cdot \left(0,1 + \frac{1}{n} \right) + \Delta \bar{X}_j^2$$

Esta expresión solo puede aplicarse para valores $n=5$ como máximo. En este tipo de instrumentos de precisiones medias, es interesante obtener la denominada incertidumbre propia del eje, mediante el cálculo del valor máximo, para $n=1$:

$$I_x^2 = \left[4 \cdot u_{oj}^2 + 4,4 \cdot S_j^2 + \Delta \bar{X}_j^2 \right] max$$

Análogamente se obtendría el valor de la incertidumbre propia del otro eje, I_y ó I_z , según el tipo de proyector calibrado. Si las dos incertidumbres propias longitudinales del instrumento son similares, podría adoptarse un valor único para el mismo, mediante alguno de los dos criterios siguientes:

- Proyectores de eje vertical:

$$I = \frac{1}{2}(I_x + I_y) \quad \text{ó} \quad I = \max(I_x, I_y)$$

- Proyectores de eje horizontal:

$$I = \frac{1}{2}(I_x + I_z) \quad \text{ó} \quad I = \max(I_x, I_z)$$

Calibración mediante un bloque patrón longitudinal pequeño y un láser de medida de desplazamientos.

En proyectores de perfiles con campos de medida grandes, puede ser conveniente realizar una calibración de las escalas longitudinales de medida, mediante un sistema láser, colocando el reflector móvil sobre la propia mesa de sustentación de las piezas (calibración de la escala en "vacío"); esta calibración ha de completarse, de forma análoga a como se hace en la calibración de medidoras de una coordenada horizontal y de tres coordenadas con campos grandes de medida, mediante la calibración en un punto, con un bloque longitudinal pequeño, que proporcione la repetibilidad del contacto óptico de enrase sobre los perfiles del mesurando, al igual que en las medidoras por coordenadas antes citadas, se obtiene la repetibilidad del contacto mecánico.

De acuerdo con lo anterior, se realizan por una parte un conjunto de $N_c = 10$ medidas de calibración, sobre un bloque patrón longitudinal de pequeñas dimensiones ($L_0 \leq 100$ mm), de las que se deduce la desviación típica del contacto óptico:

$$S^2 = \frac{1}{N_c - 1} \cdot \sum_{i=1}^{N_c} (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{9} \cdot \sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2$$

en donde:

X_i = medidas de calibración sobre un bloque pequeño ($i = 1$ a 10).

\bar{X} = valor medio de las medidas de calibración X_i .

S = desviación típica de las medidas de calibración X_i .

Por otra parte, se realiza una calibración de la escala, mediante un láser de metrología, siendo suficiente en este caso, con una sola medida de calibración, en cada uno de los $N_j = 10$ puntos, aproximadamente equidistantes de la escala, por tratarse de un instrumento de precisión media. Aunque se reiteren las pasadas de calibración con el láser a lo largo de la escala, para mayor seguridad, solo se realizarán cálculos con el valor de una medida en cada punto (si se hacen varias, se considerará la media como lectura única). A partir de todo ello, se obtienen los valores:

X_j = valores de calibración con láser, en cada punto j de la escala.

ΔX_j = correcciones de calibración en cada punto j de la escala (respecto de los valores indicados por el láser).

Se establece entonces la incertidumbre del eje calibrado del proyector, despreciando la incertidumbre correspondiente al sistema láser, como:

$$I_{xj}^2 = K^2 \cdot S^2 \cdot \left(\frac{1}{N_c} + \frac{1}{n} \right) + \Delta X_j^2 = 4 \cdot S^2 \cdot \left(0,1 + \frac{1}{n} \right) + \Delta X_j^2$$

Esta expresión solo puede aplicarse para valores $n=5$ como máximo y la incertidumbre propia pasa a ser:

$$I_x^2 = 4,4 \cdot S^2 + \Delta X_{jmax}^2$$

Análogamente se obtendría la incertidumbre propia del otro eje.

Escala de medida angular.

La escala angular de la pantalla se calibra mediante bloques patrón angulares, pudiéndose emplear a este respecto cualquiera de las calidades normalizadas, pues poseen precisiones suficientes en todo caso.

Se considera suficiente realizar una sola medida de calibración de cada bloque, en 11 puntos, aproximadamente equidistantes a 30° entre sí, complementada con 10 reiteraciones sobre uno cualquiera de ellos; puede despreciarse la incertidumbre de los patrones, incluso aunque hayan de componerse por adherencia, calculando la incertidumbre de esta escala, mediante la expresión:

www.gesdocal.es

$$I_{\alpha j}^2 = K^2 \cdot S^2 \cdot \left(\frac{1}{N_c} + \frac{1}{n} \right) + \Delta \alpha_j^2 = 4 \cdot S^2 \cdot \left(0,1 + \frac{1}{n} \right) + \Delta \alpha_j^2$$

en donde:

S = desviación típica de las 10 reiteraciones en un punto de calibración.

$\Delta \alpha_j$ = correcciones de calibración en cada punto j (pueden obtenerse tanto respecto a los valores verdaderos como a los nominales, de los bloques angulares).

$I_{\alpha j}$ = Incertidumbre, para $k=2$ y n medidas, de la medición de un ángulo en el punto j .

La anterior expresión sólo puede aplicarse para $n=5$ como máximo y la incertidumbre angular es:

$$I_{\alpha}^2 = 4,4 \cdot S^2 + \Delta\alpha_{jmax}^2$$

en donde:

I_{α} = incertidumbre propia, para $k=2$ y $n=1$ medida, de la medición de un ángulo en la pantalla del proyector de perfiles, por proyección.

Sistema de reflexión.

Escala de medidas longitudinales.

Han de calibrarse mediante reglas patrón de trazos de acero, con las superficies suficientemente planas y pulidas para que los trazos puedan observarse nítidamente sobre la pantalla, al reflejarse.

Se realiza una sola medida de calibración en cada uno de los 10 puntos, aproximadamente equidistantes dentro del campo de medida, excepto en uno cualquiera de ellos, en el que se reiterarán hasta 10 valores. A partir de estos datos, se obtiene directamente la incertidumbre propia de la regla patrón empleada:

$$I_x^2 = 4 \cdot u_{oj}^2 + 4,4 \cdot S^2 + \Delta X_{jmax}^2$$

en donde:

u_{oj} = incertidumbre, para $k=1$, de los trazos de la regla patrón longitudinal.

S = desviación típica de las 10 reiteraciones en un punto de calibración.

ΔX_j = correcciones de calibración en cada punto j (pueden ser respecto a los valores verdaderos o los nominales, según la calidad de la regla patrón utilizada).

www.gesdocal.es

I_x = incertidumbre propia, para $k=2$ y $n=1$ medida, de la medición de una longitud, por reflexión.

Para el sistema de iluminación por reflexión, no se admite disminución de la incertidumbre por repetición de medidas. Tampoco se admite para este sistema de calibración con láser, ni aunque el proyector posea campos de medida grandes; si no se logra disponer de patrones de trazos suficientemente largos o no se logra distinguir bien la imagen de los mismos en la pantalla, se reducirá el campo válido del instrumento por reflexión, que se considerará siempre como un método de medida secundario.

Escala de medida angular.

La escala angular de la pantalla, mediante iluminación por reflexión, se calibra con plantillas angulares, de forma completamente análoga a la expuesta en el apartado para la calibración de la escala angular, mediante iluminación por proyección, con la única diferencia de que, para las citadas plantillas, no se desprecie su incertidumbre como patrón, por lo cual la incertidumbre propia de la escala angular, será:

$$I_{\alpha}^2 = 4 \cdot u_{oj}^2 + 4,4 \cdot S^2 + \Delta\alpha_{jmax}^2$$

en donde:

u_{oj} = incertidumbre, para $k=1$, de los patrones angulares grabados en la plantilla.

S = desviación típica de las 10 reiteraciones en un punto de calibración.

$\Delta\alpha_j$ = correcciones de calibración en cada punto j (pueden ser respecto a los valores verdaderos de los patrones angulares grabados en la plantilla).

I_{α} = incertidumbre propia, para $k=2$ y $n=1$ medida, de la medición de un ángulo en la pantalla del proyector de perfiles, por reflexión.

No se admite disminución de la incertidumbre por repetición de medidas y se considera este método de medida como secundario.



Procedimiento de calibración de proyector de perfiles vertical y horizontal 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.