

## OBJETO

El objeto del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es definir la pauta utilizada en el software CALIBRO para la calibración de los patrones cilíndricos de  $\varnothing$  interior y exterior, que se deriva de los procesos de calibración SCI D-008 de forma que permitan obtener resultados trazables y homogéneos.

## CAMPO DE APLICACIÓN

El presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es de aplicación a los PATRONES CILÍNDRICOS DE DIÁMETRO EXTERIOR y a los PATRONES CILÍNDRICOS DE DIÁMETRO INTERIOR,

Existen por tanto, dos clases diferentes de patrones cilíndricos de diámetro:

- Patrones cilíndricos de diámetro exterior.
- Patrones cilíndricos de diámetro interior.

En la figura 1ª y 1b, se incluyen las formas más usuales correspondientes a las dos clases anteriores.

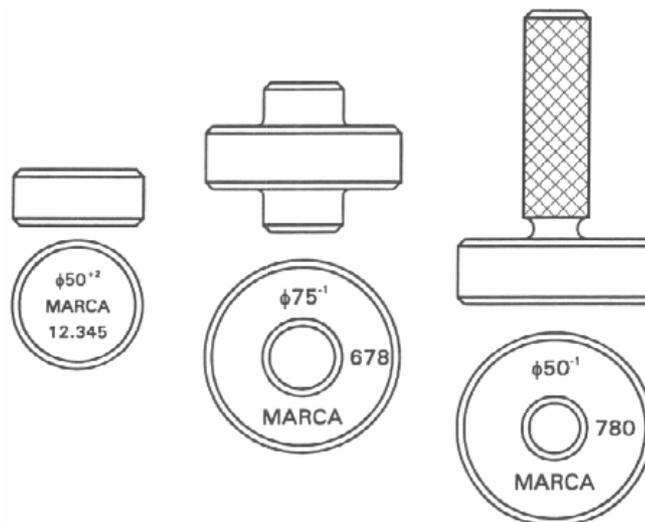


Figura 1ª.- Patrones cilíndricos de diámetro exterior.

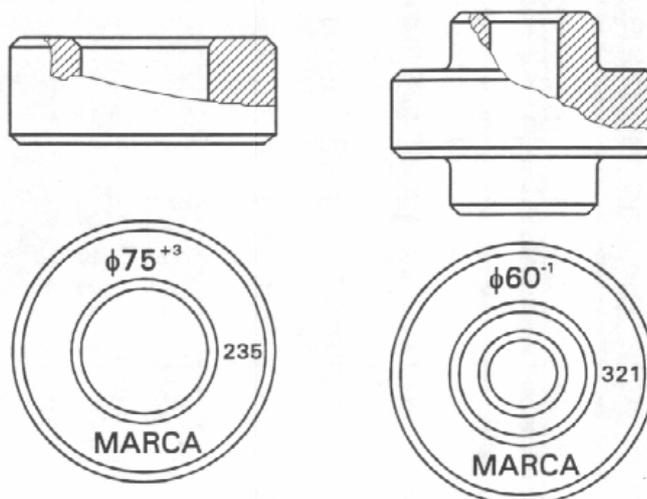


Figura 1b.- Patrones cilíndricos de diámetro interior.

**PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.**

Para este tipo de patrones, se establecen seis procedimientos de calibración diferentes de carácter general: dos de ellos basados en procedimientos de medida absolutos y los cuatro restantes basados en métodos de medida por comparación.

**Calibración mediante medidora de tres coordenadas (M3C)**

De acuerdo con la calidad del patrón, se palpa la superficie del cilindro en un número mínimo de puntos uniformemente distribuidos sobre dicha superficie según lo indicado en la tabla 2:

| Calidad  | Desviaciones máximas al nominal $\Delta D_{MAX}$ ( $\mu\text{m}$ ) | Variaciones máximas de diámetro $\Delta F_{MAX}$ ( $\mu\text{m}$ ) | Número total de puntos de palpado M3C | Posiciones, direcciones y nº total de medidas en M1CH (*) |
|----------|--|--|---------------------------------------|---|
| Alta(0)  | $\pm 1$  | 0,5  | $\geq 16$                             | 3 x 4 = 12  |
| Media(1) | $\pm 10$   | 1,0  | $\geq 8$                              | 1 x 2 = 2   |

(\*) Según detalle de la figura 2.

Tabla 2.- Número y posición de las medidas a realizar en función de la calidad del patrón.

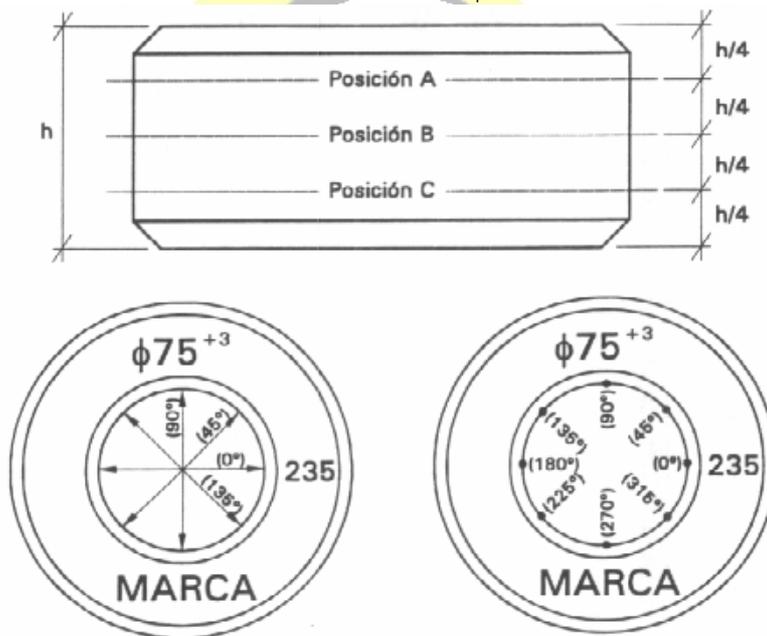


Figura 2.- Posiciones y direcciones de medida.

El soporte lógico (software) de la medidora debe permitir el ajuste por mínimos cuadrados de una superficie cilíndrica teórica a los puntos de palpado y proporcionar, como parámetros resultantes del ajuste, el valor del diámetro D de dicha superficie teórica, la desviación media cuadrática S que mide el desajuste entre los puntos de palpado y la mencionada superficie teórica y la variación de diámetros  $\Delta F$  como diferencia entre la desviación mayor y la desviación menor (ambas con su signo correspondiente).

El resultado de la medida es directamente el valor del diámetro D correspondiente a la superficie cilíndrica teórica de mínimos cuadrados. La desviación  $\Delta D$  del diámetro respecto a su valor nominal  $D_0$ , se obtiene a partir de la expresión:

$$\Delta D = D - D_0$$

Se recomienda que la incertidumbre (expandida o ampliada)  $U_M$  ( $k_M = 2$ ) de la medidora no supere el valor

$$\frac{\Delta D_{MAX}}{3}$$

Si no fuera así, sería necesario abandonar el procedimiento de medida directo y recurrir a un procedimiento de medida indirecto basado en el uso de un patrón de referencia de la misma clase (exterior o interior) que posea el mismo diámetro nominal

e incertidumbre expandida ( $K_0 = 2$ )  $U_0$  inferior en todo caso a  $\frac{\Delta D_{MAX}}{3}$ .

Dicho procedimiento consistiría en medir (utilizando el procedimiento descrito anteriormente) en primer lugar el patrón de referencia, obteniéndose para su diámetro un valor  $D_{01}$ . A continuación se mediría el patrón a calibrar, utilizando el mismo procedimiento y procurando situarlo sobre la máquina en una posición prácticamente igual a la que ocupaba el patrón de referencia. Se obtendría así un valor  $D'$  para el diámetro de dicho patrón. Por último, de nuevo en la misma posición y repitiendo de nuevo el mismo procedimiento de medida, se volvería a medir el patrón de referencia obteniéndose un nuevo valor  $D_{02}$  para su diámetro. El valor final corregido  $D$  que se asignaría al diámetro del patrón a calibrar sería :

$$D = D' + D_0 - \frac{D_{01} + D_{02}}{2}$$

donde  $D_0$  es el valor certificado del patrón de referencia.

Las mediciones anteriores deberán ser completadas con las siguientes medidas de **redondez, cilindridad y rugosidad**.

- **Patrones de calidad alta:**
  - Medida de **cilindridad** a partir de tres mediciones de **redondez**, relacionadas entre sí, realizadas en los planos A,C y B situados respectivamente a  $\frac{3}{4}$ , a  $\frac{1}{2}$  y a  $\frac{1}{4}$  de la altura total (ver figura 2).
  - Cuatro medidas de **rugosidad** según cuatro generatrices cualesquiera situadas a  $90^\circ$  entre sí.
- **Patrones de calidad media:**
  - Una medida de **redondez** en la posición C. Una medida de **rugosidad** según una generatriz cualquiera.

Se recomienda utilizar en las mediciones antes mencionadas los parámetros  $D_{MC}$  (UNE 82-307 [2]) y  $R_a$  (UNE 82-301 [3])

### Calibración mediante medidora de una coordenada horizontal (M1CH).

De acuerdo con la calidad del patrón, se mide el diámetro un cierto número de veces en unas posiciones determinadas según lo indicado en la tabla 2.

- En los patrones de calidad media, se realizan únicamente dos medidas, a 90°, en el plano central del cilindro (posición C o a media altura).
- En los patrones de alta calidad, se efectúan cuatro medidas del diámetro según 4 direcciones distintas en cada uno de los tres planos correspondientes a las tres diferentes posiciones de medida: centro (C o a media altura), arriba (A o a  $\frac{3}{4}$  de la altura total) y abajo (B o  $\frac{1}{4}$  de la altura). La dirección de medida número 1, a falta de otro criterio, será paralela a la dirección según la cual ha sido grabado el diámetro nominal del patrón en su cara superior. La dirección 2 formará un ángulo de 45° respecto a la anterior, la 3 uno de 90° y la 4 un ángulo de 135°, medidos todos ellos en sentido antihorario sobre la cara superior.

En ambos casos, el valor final D que se asignará al diámetro del patrón se obtendrá utilizando la siguiente expresión:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$$

donde  $D_i$ , es el valor correspondiente a la i-ésima medida realizada sobre dicho patrón.

Se evaluará también la máxima variación de diámetros  $\Delta F$  y la desviación  $\Delta D$  del diámetro respecto a su valor nominal  $D_0$ :

$$\Delta F = \max_{ij} \{D_i - D_j\} \quad i = 1 \dots n; \quad j = 1 \dots N$$

$$\Delta D = D - D_0$$

Ambas deberán ser inferiores, en valor absoluto, a los respectivos valores máximos  $\Delta F_{MAX}$  y  $\Delta D_{MAX}$  incluidos en la tabla 3.

Se recomienda, al igual que en el caso de la calibración con medidora de tres coordenadas, que la incertidumbre expandida  $((K_M = 2)U_M$  de la medidora no supere el valor  $\frac{\Delta D_{MAX}}{3}$ . Si esto ocurriera se debería utilizar la máquina como un comparador, apoyándose en un patrón cilíndrico de referencia de la misma clase y del mismo diámetro nominal que el patrón que se desea calibrar. La incertidumbre expandida  $(K_o = 2)U_o$  de dicho patrón no debería superar tampoco el valor máximo de  $\frac{\Delta D_{MAX}}{3}$ .

El procedimiento a utilizar es completamente análogo al descrito en el caso de las medidoras de tres coordenadas. En primer lugar, se medirá el patrón de referencia utilizando el procedimiento descrito al comienzo de este apartado, con lo que se

obtendría un resultado  $D_{01}$ . A continuación se mediría, utilizando el mismo procedimiento, el patrón a calibrar obteniéndose entonces un valor  $D'$  (no corregido) para su diámetro. Por último, se volvería a medir el patrón de referencia obteniéndose un segundo valor  $D_{02}$  para su diámetro. El valor final  $D$  (corregido) que se asignaría al diámetro del patrón a calibrar sería:

$$D = D' + D_0 - \frac{D_{01} + D_{02}}{2}$$

También, de manera análoga al procedimiento correspondiente a las medidoras de tres coordenadas, las mediciones anteriores deberán ser completadas con las siguientes medidas de **redondez, cilindridad y rugosidad**:

- **Patrones de calidad alta:**
  - Medida de **cilindridad** a partir de tres mediciones de **redondez**, relacionadas entre si, en las posiciones A, C y B.
  - Cuatro medidas de **rugosidad** según cuatro generatrices cualesquiera situadas a 90° entre si.
- **Patrones de calidad media:**
  - Una medida de **redondez** en la posición C. Una medida de **rugosidad** según una generatriz cualquiera.

Se recomienda utilizar en las mediciones antes mencionadas los parámetros  $D_{MC}$  (UNE 82-307 [2]) y  $R_a$  (UNE 82-301 [3])

#### Calibración mediante una medidora de redondez.

Para poder utilizar este procedimiento, es necesario disponer de un patrón cilíndrico del mismo tipo (exterior o interior) que el patrón a calibrar, que posea el mismo diámetro nominal y cuyo diámetro  $D_0$  sea conocido previamente con una incertidumbre expandida  $U_0$  suficientemente baja (inferior a un tercio del valor máximo permitido para la desviación máxima al nominal  $U_0 \leq \frac{\Delta D_{MAX}}{3}$  para un factor de incertidumbre  $K_0 = 2$ , ver tabla 2).

Los patrones se colocarán, uno sobre otro, en el plato giratorio de la máquina medidora de redondez (figura 3), la cual deberá poseer una coordenada vertical de medida (para la realización de medidas de cilindridad). Se hará coincidir lo mejor posible las superficies de medida de ambos patrones y se alinearán verticalmente dos generatrices cualesquiera a 90°. A continuación, utilizando la mayor amplificación posible, se obtendrán dos gráficos de desviaciones radiales (figura 4), uno para cada patrón y correspondientes a la posición C (media altura).

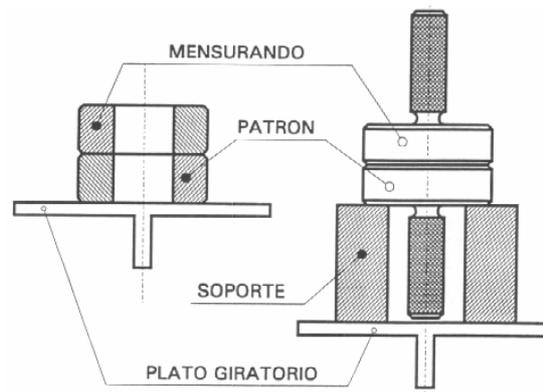
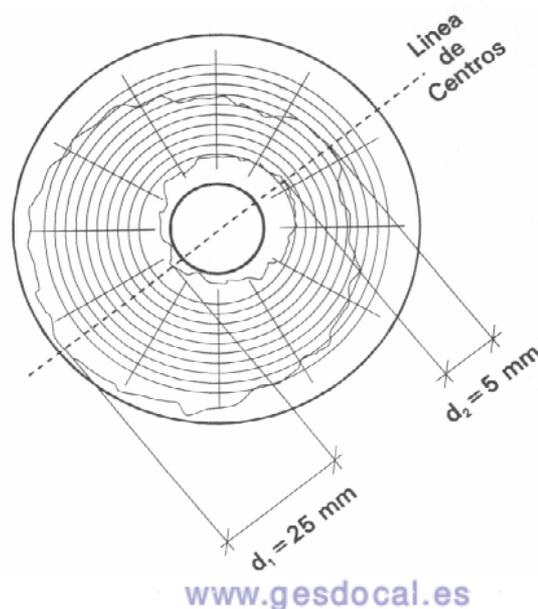


Figura 3.- Colocación de los patrones para la realización de una calibración por comparación



[www.gesdocal.es](http://www.gesdocal.es)

Figura 4.- Medida por comparación de patrones de diámetro en una medidora de redondez. Una vez establecida aproximadamente la línea de centros, se miden las diferencias diametrales  $d_1$  y  $d_2$  obteniéndose el diámetro  $D$  del patrón a calibrar como suma del diámetro convencionalmente verdadero  $D_0$  del patrón de referencia más la suma, con sus signos correspondientes, de las diferencias  $d_1$  y  $d_2$  divididas por el factor A de amplificación con el cual fue obtenido el gráfico:

$$D = D_0 + \frac{d_1 + d_2}{A}$$

Este procedimiento es de precisión relativamente baja, pero puede resultar un método complementario de gran interés, sobre todo en la calibración de patrones de calidad alta, para confirmar los resultados obtenidos utilizando los procedimientos directos o absolutos descritos en los apartados 4.1 y 4.2.

**Calibración mediante comparador de doble palpador.**

Existen comparadores diseñados casi específicamente para llevar a cabo este tipo de calibraciones de patrones de diámetro. Suelen estar basados, generalmente, en sistemas de deformación elástica, con doble palpados ( uno fijo y otro móvil ), que permiten obtener el diámetro  $D$  del patrón cilíndrico a calibrar mediante su comparación con la longitud convencionalmente verdadera  $L_0$  de un montaje de bloques patrón longitudinales.

El instrumento permite calibrar tanto patrones exteriores como interiores, obteniéndose el diámetro  $D$  a partir de  $L_0$  y las diferencias  $X_i$  leídas en la escala del comparador con sus correspondientes signos (figura 5).

$$D_i = L_0 + X_i$$
$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i = L_0 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

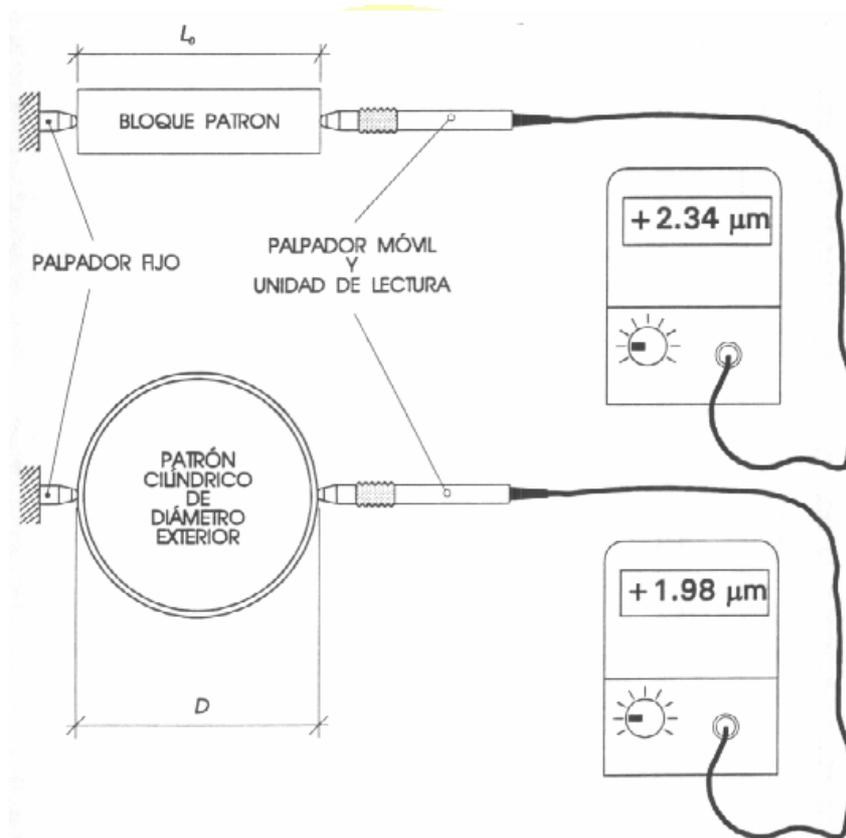


Figura 5.

Para este procedimiento de calibración se aplicarán los mismos criterios indicados en el apartado 3.2. (medidoras de una coordenada horizontal) en cuanto a número de medidas (tabla 2 y figura 2), resultados y criterios de aceptación o rechazo.

La incertidumbre expandida  $(K_o = 2)U_0$  correspondiente al montaje de bloques patrón, de longitud  $L_0$  no debe superar el valor máximo  $\frac{\Delta D_{MAX}}{3}$  (ver tabla 2). Se recomienda utilizar bloques patrón de calidad 0 en la calibración de patrones cilíndricos de calidad alta (0) y de calidad 1 en el caso de patrones cilíndricos de calidad media (1).

## RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

En el presente proceso de calibración, tanto el número de medidas a realizar como las posiciones en las cuales debe efectuarse, así como el cálculo del resultado final  $D$ , se han incluido, debido a su sencillez, en la descripción de los procedimientos de medida descritos en el apartado anterior. Por consiguiente, en este apartado se incluyen únicamente la estimación de la incertidumbre del resultado final  $D$ .

### **Calibración mediante medidora de tres coordenadas.**

#### Medida absoluta o directa.

La incertidumbre (expandida o ampliada [4])  $U$  que se asigna al resultado final  $D$  proporcionado directamente por la máquina (diámetro de la superficie cilíndrica teórica ajustada, por mínimos cuadrados, a los puntos de palpado) es la siguiente:

$$U = k \cdot \sqrt{\left(\frac{U_M}{K_M}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{n}\right) \cdot u_m^2}$$

donde  $k$  es el factor de incertidumbre (se recomienda utilizar  $k=2$ ),  $U_M$  la incertidumbre expandida de la medidora para este tipo de medidas,  $k_M$  su respectivo factor de incertidumbre,  $n$  el número total de puntos de palpado y  $u_m$  es la incertidumbre típica [4] asociada a la indefinición o irregularidad del patrón a calibrar [5].

La incertidumbre  $u_m$  puede ser estimada a partir de la desviación típica  $s$  que la máquina de tres coordenadas proporciona como medida del desajuste entre los puntos de palpado realmente obtenidos y la superficie teórica finalmente ajustada. La expresión que permite estimar  $u_m$  es la siguiente :

$$u_m = \sqrt{2} \cdot s$$

La razón de multiplicar por  $\sqrt{2}$  la desviación típica  $s$  proporcionada por la máquina es la siguiente: dicha desviación típica mide en realidad el defecto de cilindridad del patrón, pero cuantificado como variación de sus radios, no de sus diámetros. Un diámetro cualquiera  $D$  es la suma de dos radios:  $R_1$  y  $R_2$ .

Por consiguiente, la desviación típica  $s$  ( $D$ ) del diámetro, admitiendo independencia estadística entre los defectos correspondientes a los dos radios, será la suma cuadrática de las desviaciones típicas de los radios  $R_1$  y  $R_2$ .

La expresión antes indicada puede ser utilizada únicamente si el número de puntos de palpado es igual o superior a 14 por el siguiente motivo:

Un cilindro en el espacio necesita, para ser completamente determinado, que se fijen cinco parámetros: Cuatro que determinan la posición y orientación de su eje más un quinto que determina su diámetro. Por tanto, los grados de libertad de la desviación típica  $s$  proporcionada por la máquina son el número total de puntos donde se ha palpado menos cinco. Por esta razón, y teniendo en cuenta que, como norma general, no se debe de trabajar con desviaciones típicas con menos de nueve grados de libertad (equivalente a la desviación típica obtenida repitiendo 10 veces la medida).

Si por alguna razón, no se hubiera podido seguir la recomendación indicada en este proceso de utilizar al menos 16 puntos de palpado, se recomienda estimar  $u_m$  utilizando la información recogida en las medidas de redondez de acuerdo con la siguiente expresión:

$$u_m = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \left( \frac{D_{MCj}}{2\sqrt{3}} \right)^2} = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J D_{MCj}^2}{J}} = \frac{D_{MC}}{\sqrt{6}}$$

Donde  $J$  es el número total de medidas de redondez realizadas y  $D_{MCj}$  es el defecto de redondez (de acuerdo con UNE 82-307 [2]) correspondiente a la medida  $j$ .  $D_{MC}$  es el valor medio cuadrático de los  $J$  defectos de redondez obtenidos en las  $J$  medidas de redondez efectuadas.

La razón por la cual se multiplica por  $\sqrt{2}$  es análoga a la comentada anteriormente y es que el defecto de redondez  $D_{MC}$  (UNE 82-307 [2]) se cuantifica como variación de los radios y no como variación de los diámetros. Dicho defecto es precisamente la diferencia entre los radios máximo y mínimo obtenidos. Por ello, para a partir de él obtener una incertidumbre típica es necesario dividir por  $2\sqrt{3}$  (se considera que los radios, a falta de una información mejor, se distribuyen de manera uniforme entre el valor máximo y el valor mínimo).

Medida por comparación.

La expresión que permite obtener el resultado final  $D$  corregido es la siguiente, de acuerdo con lo expuesto en el apartado 4.1:

$$D = D' + D_0 - \frac{D_{01} + D_{02}}{2}$$

donde  $D'$  es el resultado proporcionado por la medidora al medir, de manera directa, el patrón a calibrar;  $D_0$  es el valor certificado del patrón de referencia y  $D_{01}$  y  $D_{02}$  son los resultados proporcionados por la medidora al medir dos veces, de manera directa, dicho patrón de referencia.

La expresión que permite obtener la incertidumbre (expandida o ampliada) del resultado final  $D$  ya corregido es la siguiente:

$$U = k \cdot \sqrt{\left(\frac{U_0}{k_0}\right)^2 + \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{U_c}{k_c}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{n}\right) \cdot u_m^2}$$

donde  $k$  es el factor de incertidumbre (se recomienda utilizar  $k=2$ );  $U_c$  la incertidumbre expandida de la medidora cuando es utilizada como comparador (se estima repitiendo un cierto número  $n_c$  de medidas  $D_{0j}$  sobre el patrón  $n_c \geq 10$  y evaluando su desviación típica:

$$\bar{D}_0 = \frac{1}{n_c} \sum_{j=1}^{n_c} D_{0j}$$

$$U_c = k_c \cdot s(D_{0j}) = k_c \cdot \sqrt{\frac{1}{n_c - 1} \sum_{j=1}^{n_c} (D_{0j} - \bar{D}_0)^2}$$

$k_M$  es su respectivo factor de incertidumbre;  $n$  el número total de puntos de palpado y  $u_m$  es la incertidumbre típica asociada a la indefinición o irregularidad del patrón a calibrar. Esta última se evalúa siguiendo el procedimiento ya descrito en el subapartado 5.1.1.

### Calibración mediante máquina medidora de una coordenada horizontal.

#### Medida absoluta o directa.

De acuerdo con lo indicado en el apartado 4.1 la expresión a partir de la cual se obtiene el valor del diámetro  $D$  del patrón a calibrar es la siguiente:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$$

Por consiguiente

$$U = k \cdot \sqrt{\left(\frac{U_M}{k_M}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{n}\right) u_m^2}$$

donde  $n$  es el número total de medidas realizado,  $U$  representa la incertidumbre (expandida o ampliada) del resultado final  $D$ ,  $k$  es su respectivo factor de incertidumbre (se recomienda utilizar el valor  $k=2$ ),  $U_M$  corresponde a la incertidumbre (expandida o ampliada) de la medidora utilizada siendo  $k_M$  su factor de incertidumbre y  $u_m$  representa la incertidumbre típica asociada a la indefinición del patrón a calibrar.

Existen dos procedimientos que permiten, a partir de las mediciones realizadas durante la calibración, estimar la componente  $u_m$  de la incertidumbre debida a la indefinición del patrón a calibrar, como ya se ha comentado en el apartado 5.1. El primero de ellos está basado en la utilización de la desviación típica  $s(D_i)$  de los diferentes valores  $D_i$  obtenidos:

[www.gesdocal.es](http://www.gesdocal.es)

$$u_m = s(D_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - D)^2}$$

Este procedimiento debería ser utilizado únicamente cuando el número total  $n$  de medidas realizado sea igual o superior a diez. En caso contrario debería utilizarse el procedimiento ya descrito basado en la información recogida a partir de las medidas de redondez (ver apartado 5.1):

$$u_m = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \left(\frac{D_{MCJ}}{2\sqrt{3}}\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J D_{MCJ}^2}{J}} = \frac{D_{MC}^-}{\sqrt{6}}$$

Este segundo procedimiento es de uso obligado en el caso de patrones de calidad media ( $n=2$ ).

Medida por comparación.

El procedimiento de estimación de incertidumbres es completamente análogo al descrito en el apartado 5.1.2 (medida por comparación en medidora de tres coordenadas). La expresión que permite obtener el resultado final  $D$  corregido es la siguiente de acuerdo con lo expuesto en el apartado 4.2:

$$D = D' + D_0 - \frac{D_{01} + D_{02}}{2}$$

donde  $D'$  es el resultado proporcionado por la medidora al medir, de manera directa, el patrón a calibrar;  $D_0$  es el valor certificado del patrón de referencia y  $D_{01}$  y  $D_{02}$  son los resultados proporcionados por la medidora al medir dos veces, de manera directa, dicho patrón de referencia.

La expresión que permite obtener la incertidumbre (expandida o ampliada) del resultado final  $D$  ya corregido es el siguiente:

$$U = k \cdot \sqrt{\left(\frac{U_0}{k_0}\right)^2 + \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{U_c}{k_c}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{n}\right) \cdot u_m^2}$$

donde  $k$  es el factor de incertidumbre (se recomienda utilizar  $k=2$ ),  $U_c$  la incertidumbre expandida de la medidora cuando es utilizada como comparador,  $k_M$  su respectivo factor de incertidumbre,  $n$  el número total de medidas efectuadas y  $u_m$  es la incertidumbre típica asociada a la indefinición o irregularidad del patrón a calibrar. Esta última se evalúa siguiendo el procedimiento descrito en el subapartado 5.2.1.

[www.gesdocal.es](http://www.gesdocal.es)

**Calibración mediante medidora de redondez.**

De acuerdo con lo indicado en el apartado 4.3.

$$D = D_0 + \frac{d_1 + d_2}{A}$$

Por tanto:

$$U = k \cdot \sqrt{\left(\frac{U_0}{k_0}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{u_G}{A}\right)^2 + u_m^2}$$

donde  $U$  representa la incertidumbre (expandida o ampliada) del resultado final  $D$ ,  $k$  es su respectivo factor de incertidumbre (se recomienda utilizar  $k=2$ ),  $U_0$  corresponde a la incertidumbre (expandida o ampliada) del patrón de diámetro

utilizado siendo  $k_0$  su factor de incertidumbre,  $u_G$  es la incertidumbre típica de lectura de una diferencia ( $d_1$  o  $d_2$ ) en el gráfico de desviaciones radiales y  $u_m$  representa la incertidumbre típica asociada a la indefinición o irregularidad del patrón a calibrar.

De forma rigurosa el valor de  $u_G$  es la suma cuadrática de la componente incertidumbre debida a la amplificación  $A$  del registrador más la incertidumbre de lectura de las diferencias en el gráfico. Sin embargo, para un instrumento correctamente calibrado la contribución de la primera puede despreciarse frente a la segunda.

La incertidumbre típica  $u$  correspondiente a la lectura de las diferencias sobre el gráfico puede estimarse de la siguiente manera:

- Medida por visualización directa sobre regla con división de escala de 1 mm:

$$u_G = \frac{1\text{mm}}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,29\text{mm}$$

- Medida con lupa de división de escala de 0,1 mm:

$$u_G = \frac{0,1\text{mm}}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,29\text{mm}$$

La estimación de la componente de la incertidumbre  $u_m$  asociada a la indefinición del patrón a calibrar se realiza a partir del defecto de redondez  $D_{MC}$  de manera análoga a lo ya expuesto en los apartados anteriores:

$$u_m = \frac{D_{MC}}{\sqrt{6}}$$

#### Calibración mediante comparador de doble palpador.

De acuerdo con lo expuesto en el apartado 4.4:

$$D = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n D_i = L_0 + \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Consiguientemente:

$$U = k \cdot \sqrt{\left(\frac{U_0}{k_0}\right)^2 + \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{U_c}{k_c}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{n}\right) \cdot u_m^2}$$

donde  $U$  representa la incertidumbre (expandida o ampliada) del resultado final  $D$ ,  $k$  es su respectivo factor de incertidumbre (se recomienda utilizar  $k=2$ ),  $U_0$  corresponde a la incertidumbre (expandida o ampliada) del patrón de diámetro utilizado siendo  $k_0$  su factor de incertidumbre,  $u_c$  es la incertidumbre (expandida o ampliada) del comparador (para una única medida),  $k_c$  su correspondiente factor de incertidumbre,  $n$  es el número total de medidas realizadas y por último  $u_m$  representa la incertidumbre típica asociada a la indefinición o irregularidad del patrón a calibrar.

La estimación de la componente  $u_m$  puede realizarse a partir de la desviación típica  $s(X_i)$  de las desviaciones  $X_i$  proporcionadas por el comparador siempre y cuando el número total de medidas  $n$  sea igual o superior a 10:

$$u_m = s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{donde} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

bien, como también se ha comentado en apartados anteriores, a partir de los defectos de redondez  $D_{MCj}$  obtenidos en las correspondientes medidas de redondez realizadas:

$$u_m = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J \left( \frac{D_{MCj}}{2\sqrt{3}} \right)^2} = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J D_{MCj}^2}{J}} = \frac{D_{MC}^-}{\sqrt{6}}$$

En cualquier caso, y sea cual sea el procedimiento finalmente elegido para efectuar la calibración, debe recordarse que el resultado de la calibración es válido únicamente si la verificación de diámetros  $\Delta F$  obtenida es inferior, en valor absoluto, al valor máximo especificado en la tabla 2.

**CALIDADES.**

Se establecen dos calidades para los patrones cilíndricos de diámetro, en función de las desviaciones máximas admisibles a su nominal,  $\Delta D_{MAX}$ , y de las variaciones máximas admisibles de diámetro,  $\Delta F_{MAX}$  (tabla 3):

| Calidad  | Desviaciones máximas al nominal $\Delta D_{MAX}$ (µm) | Variaciones máximas de diámetro $\Delta F_{MAX}$ (µm) |
|----------|---|---|
| Alta(0)  | ± 1   | 0,5   |
| Media(1) | ± 10  | 1,0   |

Tabla 3. - Valores máximos admisibles para la desviación al nominal y al variación de diámetros.

Tanto la desviación  $\Delta D$  como la variación  $\Delta F$  obtenidas utilizando los procedimientos descritos en los apartados 4 y 5 deberán ser inferiores, en valor absoluto, a los respectivos valores máximos  $\Delta D_{MAX}$  y  $\Delta F_{MAX}$  incluidos en la tabla 3 que son función de la calidad del patrón:

$$\Delta F \leq \Delta F_{MAX}$$
$$|\Delta D| \leq \Delta D_{MAX}$$

**Todo patrón que se encuentre fuera de calidad en relación con el parámetro  $\Delta F$  debe ser reparado, eliminado o degradada su calidad.** Sin embargo, es admisible aunque no recomendable, seguir manteniendo un patrón que se encuentre fuera de calidad únicamente en lo relativo al parámetro  $\Delta D$

### **BIBLIOGRAFIA.**

- [2] UNE 82-307-81: Métodos para la valoración de los defectos de redondez.
- [3] UNE 82-301-76: Determinación de la rugosidad superficial.
- [4] ISO, IEC, OIML & BIPM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. ISO. 1ª De. ISBN 92-67-10188-9. 1993.
- [5] Sánchez Pérez, A.Mª; Granados, C.E.; Carro, J.; de Vicente, J.: Seminario sobre Metrología y calibración. SCI-LMN, Madrid, Septiembre - Octubre 1993.

[www.gesdocal.es](http://www.gesdocal.es)



Procedimiento de calibración de patrones cilíndricos de Ø interior y exterior 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/).

Based on a work at [gesdocal.es](http://gesdocal.es).