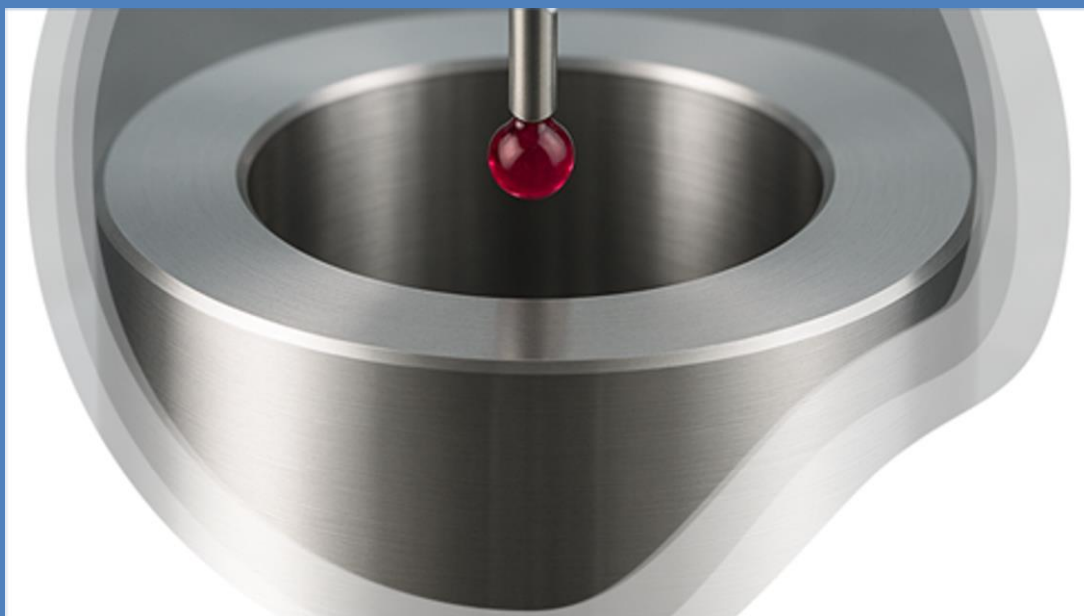


GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE PATRONES CILÍNDRICOS DE DIÁMETRO

Versión 1.0 (2025)



Traducción

Esta publicación es una traducción de la Guía de Calibración EURAMET “Guidelines for the Calibration of Cylindrical Diameter Standards” (Calibration Guide No. 6. Version 3.0 (05/2024). Los derechos de autor del documento original los posee © EURAMET e.V. 2024. ([Calibration Guidelines](#))

En caso de inconsistencia entre la traducción y el documento original, prevalecerá el original.

La traducción la han realizado Rafael Muñoz Bueno y M^a del Mar Pérez Hernández, ambos personal del Centro Español de Metrología (CEM), C/ del Alfar, 2 – 28760 Tres Cantos (Madrid) España.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	MÉTODO BÁSICO DE CALIBRACIÓN: CALIBRACIÓN DE DIÁMETRO SIN MEDIDA DEL DEFECTO DE FORMA.....	2
3	CALIBRACIÓN DE DIÁMETRO Y REDONDEZ	3
4	CALIBRACIÓN DE DIÁMETRO, REDONDEZ, RECTITUD Y PARALELISMO	4
5	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	4
6	REFERENCIAS	4
	APÉNDICE A	5

1 INTRODUCCIÓN

- 1.1** Esta guía es aplicable a los patrones cilíndricos, tanto interiores (anillos) o exteriores (tampones) donde el mensurando principal a calibrar es el diámetro. En este documento, el término diámetro se refiere al diámetro medido entre dos puntos. Esto es así debido a que el método más extendido en la calibración de diámetros es la calibración mediante las máquinas de una coordenada horizontal (comparadores de Abbe). Con la tecnología actual de medición por coordenadas, es posible realizar tanto la medición del diámetro entre dos puntos como, por ejemplo, la medición del diámetro gaussiano (= medio) (se pueden encontrar diversas definiciones de diámetro en [1]). Antes de aplicar esta guía, se debe verificar si la diferencia entre las distintas definiciones de diámetro puede ser despreciada. Esto sería posible, por ejemplo, si se diera el caso de que la incertidumbre de medida fuera significativamente mayor que las diferencias de los diámetros correspondientes a las distintas definiciones. En ese caso, los diámetros medidos obtenidos a partir de la distancia entre dos puntos podrían asimilarse a diámetros gaussianos cuando se dispusiera de los datos del perfil de redondez obtenido en el mismo plano de medida.
- 1.2** Generalmente se entiende que la medición de un solo diámetro no es suficiente para calibrar un patrón cilíndrico. Se requiere información adicional sobre las variaciones de diámetro para evaluar la incertidumbre de la medición, así como para el uso posterior del patrón.
- 1.3** La variación del diámetro se evaluará ya sea midiendo varios diámetros cerca de la dirección de medición nominal o midiendo la forma (redondez, rectitud, paralelismo). Téngase en cuenta que la medición de la redondez determina principalmente la variación del radio. De esta forma, se puede calcular o estimar la variación del diámetro.
- 1.4** El propósito de este documento es brindar orientación a los laboratorios de calibración y a sus clientes en la elección de la categoría de calibración adecuada, teniendo en cuenta las necesidades del cliente (usuario) para la aplicación específica de sus patrones.
- 1.5** Se proponen tres métodos de medida para la calibración de patrones cilíndricos. Para cada una de estas categorías, se proporcionarán ejemplos apropiados para el uso posterior de los patrones.
- 1.6** Cabe señalar que las tres categorías no cubren todas las posibilidades. También se pueden aplicar otros métodos o combinaciones de métodos. En el apéndice de esta guía se ofrecen algunos ejemplos sencillos de balances de incertidumbre.

2 MÉTODO BÁSICO DE CALIBRACIÓN: CALIBRACIÓN DE DIÁMETRO SIN MEDIDA DEL DEFECTO DE FORMA

- 2.1** Las siguientes tres medidas constituyen las actividades mínimas recomendadas en la calibración de un diámetro. Pueden aplicarse a los diámetros interiores o exteriores que sirven de ajuste para equipos de medida de dos contactos.
- Medición de un diámetro en la dirección nominal en un plano P especificado, ortogonal al eje del cilindro (Fig. 1).

- Medición de dos diámetros en el plano P girado alrededor del eje del cilindro con respecto a la dirección nominal, por ejemplo $\pm 1^\circ$ en la circunferencia o en $\pm 10^\circ$, lo que sea menor.
- Medida de dos diámetros en la dirección nominal trasladada a los planos paralelos a P que tienen una separación de por ejemplo ± 1 mm.

2.2 La posición en la que se calibra el diámetro debe describirse con precisión. El resultado de esta calibración es un diámetro que solo es relevante para los puntos de contacto de la dirección nominal. En general, en el certificado se debe indicar la media de las cinco mediciones de diámetro. Las variaciones en el diámetro medido contribuirán, junto con la repetibilidad en una misma dirección de medición y otras contribuciones, a la incertidumbre de la medición.

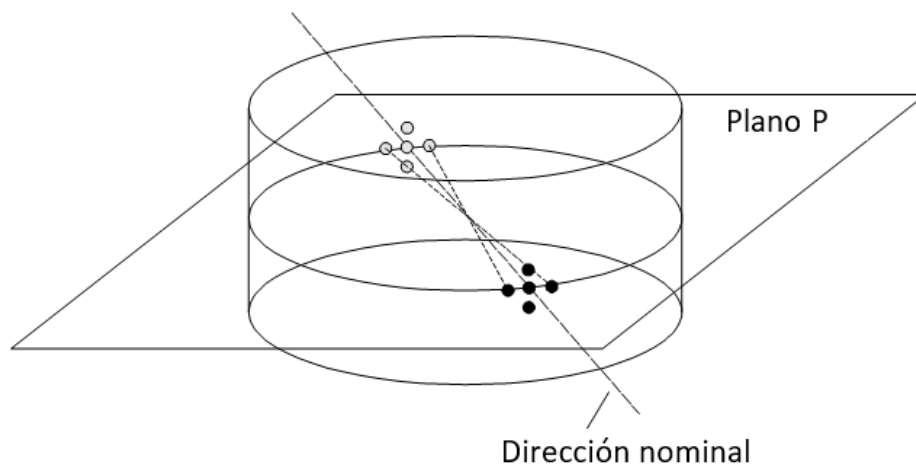


Fig.1. Direcciones de medición nominales y cuatro adicionales que permiten la evaluación de la variación del diámetro.

3 CALIBRACIÓN DE DIÁMETRO Y REDONDEZ

3.1 Este tipo de calibración se compone de mediciones de diámetro y redondez. Se puede aplicar a los patrones cilíndricos que sirven de ajuste para equipos de medida de dos o tres contactos, así como a patrones exteriores o interiores del tipo pasa/no pasa. La manera de proceder sería como sigue:

- Tres medidas de redondez (para patrones pasa/no pasa: una medida central y dos cercanas a las caras límite y para los calibres de ajuste: una medida a media altura y aproximadamente a $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de la altura del cilindro).
- Mediciones de diámetro en los tres planos de medición de la redondez, en una sección axial común. Dependiendo del patrón y su aplicación, puede ser necesario realizar mediciones de diámetro adicionales en alturas más cercanas al plano central del cilindro.

3.2 En general, en el certificado se deben indicar las tres mediciones de diámetro y redondez. Dado que no se realizan mediciones de rectitud ni de paralelismo, no se pueden detectar desviaciones de forma particulares (como por ejemplo con forma de plátano). Sin embargo, se pueden examinar por otros medios.

4 CALIBRACIÓN DE DIÁMETRO, REDONDEZ, RECTITUD Y PARALELISMO

4.1 La calibración completa es adecuada cuando la forma es relevante para la aplicación del patrón (por ejemplo, para el acoplamiento de pistones y cilindros) y, en general, para patrones de alta precisión. También se puede aplicar a los patrones cilíndricos que sirven de ajuste para instrumentos de medida de dos o tres contactos. Este tipo de calibración debe incluir las siguientes mediciones:

- Al menos tres medidas de redondez (central y cerca de las caras de los extremos del patrón).
- Medición de la rectitud y paralelismo de las generatrices de la superficie del cilindro, en al menos dos secciones axiales ortogonales.
- Al menos una medida de diámetro en puntos de intersección del plano de medición radial central y uno de los planos de medición axial.

4.2 En general, todas las medidas de diámetro y forma se deben incluir en el certificado. Se debe tener en cuenta que las diferentes medidas de forma generalmente se refieren a datos diferentes y que algunas medidas son radiales y no diametrales. Por lo tanto, la combinación de las medidas de forma no es sencilla. Se pueden realizar mediciones de diámetro adicionales para obtener una imagen más fiable de la superficie real del cilindro

5 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

5.1 El certificado de calibración debe describir el método de medida y los lugares de medición deben estar claramente indicados. Esto es particularmente importante para el método básico de calibración, donde el mensurado debe estar claramente definido.

5.2 Respecto a los resultados de las medidas, el certificado deberá resaltar cualquier medición que esté fuera del alcance acreditado.

5.3 Los resultados de la medición se expresarán con una incertidumbre, calculada de acuerdo con la GUM [ref. 2 y 3].

6 REFERENCIAS

- [1] ISO 14405-1:2016 Geometrical product specifications (GPS) - Dimensional tolerancing - Part 1: Linear sizes
- [2] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM100:2008.
URL:https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6.
- [3] EA-4/02 M: 2022, Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration (example - S13 CALIBRATION OF A RING GAUGE WITH A NOMINAL DIAMETER OF 90 mm).

APÉNDICE A

En los siguientes párrafos se muestran ejemplos de tablas para presentar tanto los resultados de la calibración como lo que deberían contener los certificados.

A continuación, se muestran ejemplos de balances de incertidumbre y los resultados de las calibraciones recogidos en los certificados considerando las categorías mencionadas anteriormente para cada método de calibración. Cabe señalar que los balances de incertidumbre no se muestran aquí en "detalle", ya que el objetivo es mostrar cómo se recogen los resultados para las categorías de medición y las contribuciones de incertidumbre relevantes debido a las mediciones de forma o las variaciones de diámetro. Para obtener una muestra detallada de balance de incertidumbre (por método de comparación con un anillo de ajuste de referencia), se puede consultar [3] EA-4/02 M: 2022 - Ejemplo S13.

A1 Ejemplo 1. Calibración de diámetro sin medida de defecto de forma

Ejemplo numérico de balance de incertidumbre: Calibración de un anillo, de diámetro nominal de 40 mm, con un coeficiente de expansión térmica de $(10,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, sin medida del defecto de forma. Se midieron un total de 5 diámetros en tres planos diferentes.

Tabla 1. Resultados obtenidos para el diámetro a una altura H

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio diámetro, D	40,001 26 mm	0,04 μm	normal	1	0,04 μm
Instrumento de medida		0,11 μm	normal	1	0,11 μm
Efectos de temperatura		0,01 μm	rectangular	1	0,01 μm
					0,12 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(D) = 2 \cdot 0,12 \mu\text{m} = 0,24 \mu\text{m}$

El resultado es $D = (40,001\ 26 \pm 0,000\ 24) \text{ mm}$

Téngase en cuenta que el valor del diámetro medio se obtuvo del promedio de las cinco mediciones de diámetro como se describe en el párrafo 2.1 a la altura H . La incertidumbre estándar del valor del diámetro medio incluye la repetibilidad y las desviaciones de diámetro observadas en las cinco posiciones diferentes.

Tabla 2. Resultados a incluir en el certificado relativo al Ejemplo 1: Calibración de diámetro sin medidas de defectos de forma.

$h = H \text{ mm}$	
D_h /mm	$U(k = 2)$ / μm
40,001 26	0,24

A2 Ejemplo 2. Calibración de diámetro y del defecto de redondez

Ejemplo numérico de balance de incertidumbre: Calibración de un anillo, de diámetro nominal de 10 mm, con un coeficiente de expansión térmica de $(10,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, con medida del defecto de redondez en tres planos diferentes. Las medidas del diámetro se realizaron en los mismos 3 planos que las medidas del defecto redondez.

Tabla 3. Resultados obtenidos para el diámetro y el defecto de redondez a la mitad de la altura del patrón.

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio diámetro, D	10,002 57 mm	0,05 μm	normal	1	0,05 μm
Instrumento de medida		0,11 μm	normal	1	0,11 μm
Efectos de temperatura		0,02 μm	rectangular	1	0,02 μm
Valor medio de redondez, RON_t	0,04	0,02 μm	rectangular	1	0,02 μm
Incertidumbre de la redondez		0,02 μm	normal	1	0,02 μm
					0,13 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(D) = 2 \cdot 0,13 \mu\text{m} = 0,26 \mu\text{m}$

Los resultados son $D = (10,002\ 57 \pm 0,000\ 26) \text{ mm}$

$RON_t = (0,04 \pm 0,04) \mu\text{m}$

Nótese que el valor del diámetro medio se obtuvo del promedio de las mediciones realizadas a media altura y en su incertidumbre está incluido el efecto de la redondez a esa misma altura.

Tabla 4. Resultados obtenidos para el diámetro y el defecto de redondez a $\frac{1}{4}$ de la altura del patrón.

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio diámetro, D	10,002 63 mm	0,05 μm	normal	1	0,05 μm
Instrumento de medida		0,11 μm	normal	1	0,11 μm
Efectos de temperatura		0,02 μm	rectangular	1	0,02 μm
Valor medio de redondez, RON_t	0,06 μm		rectangular	1	0,03 μm
Incertidumbre de la redondez		0,04 μm	normal	1	0,04 μm
					0,13 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(D) = 2 \cdot 0,13 \mu\text{m} = 0,26 \mu\text{m}$

Los resultados son $D = (10,002\ 63 \pm 0,000\ 26) \text{ mm}$

$RON\ t = (0,06 \pm 0,08) \mu\text{m}$

Nótese que el valor del diámetro medio se obtuvo del promedio de las mediciones realizadas a $\frac{1}{4}$ de la altura del patrón y en su incertidumbre está incluido el efecto de la redondez a esa misma altura.

Tabla 5. Resultados obtenidos para el diámetro y el defecto de redondez a $\frac{3}{4}$ de la altura del patrón.

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio diámetro, D	10,002 29 mm	0,05 μm	normal	1	0,05 μm
Instrumento de medida		0,11 μm	normal	1	0,11 μm
Efectos de temperatura		0,04 μm	rectangular	1	0,04 μm
Valor medio de redondez, $RON\ t$	0,03 μm		rectangular	1	0,02 μm
Incertidumbre de la redondez		0,07 μm	normal	1	0,07 μm
					0,15 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(D) = 2 \cdot 0,15 \mu\text{m} = 0,30 \mu\text{m}$

Los resultados son $D = (10,002\ 29 \pm 0,000\ 30) \text{ mm}$

$RON\ t = (0,03 \pm 0,14) \mu\text{m}$

Nótese que el valor del diámetro medio se obtuvo del promedio de las mediciones realizadas a $\frac{3}{4}$ de la altura del patrón y en su incertidumbre está incluido el efecto de la redondez a esa misma altura.

Tabla 6. Resultados a incluir en el certificado relativo al Ejemplo 2: Calibración de diámetro y defecto de redondez.

$h = 1/4H \text{ mm}$		$h = 1/2H \text{ mm}$		$h = 3/4H \text{ mm}$	
$D_{1/4}$ /mm	$U(k=2)$ / μm	$D_{1/2}$ /mm	$U(k=2)$ / μm	$D_{3/4}$ /mm	$U(k=2)$ / μm
10,002 63	0,26	10,002 57	0,26	10,002 29	0,30

$h = 1/4H \text{ mm}$		$h = 1/2H \text{ mm}$		$h = 3/4H \text{ mm}$	
$RON\ t_{1/4}$ / μm	$U(k=2)$ / μm	$RON\ t_{1/2}$ / μm	$U(k=2)$ / μm	$RON\ t_{3/4}$ / μm	$U(k=2)$ / μm
0,06	0,08	0,04	0,04	0,03	0,14

A3 Ejemplo 3. Calibración de diámetro, redondez, rectitud y paralelismo.

Ejemplo numérico de balance de incertidumbre: Calibración de un anillo, de diámetro nominal 10 mm, altura 30 mm, con coeficiente de expansión térmica de $(10,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, con medidas de diámetro en el plano radial central. Se realizaron tres mediciones de redondez (a la mitad del patrón y cercana a las caras de los extremos, denominadas superior e inferior). Además, se llevaron a cabo mediciones de rectitud y paralelismo de cuatro generatrices de la superficie del cilindro, cubriendo casi la longitud total del patrón. Se entiende por generatriz el perfil recto paralelo al eje del cilindro medido en su superficie.

Tabla 7. Resultados obtenidos para el diámetro y el defecto de redondez a la mitad de la altura del patrón.

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio diámetro, D	10,002 57 mm	0,05 μm	normal	1	0,05 μm
Instrumento de medida		0,11 μm	normal	1	0,11 μm
Efectos de temperatura		0,02 μm	rectangular	1	0,02 μm
Valor medio de redondez, $RON t$	0,04	0,02 μm	rectangular	1	0,02 μm
Incertidumbre de la redondez		0,02 μm	normal	1	0,02 μm
					0,13 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(D) = 2 \cdot 0,13 \mu\text{m} = 0,26 \mu\text{m}$

Los resultados son $D = (10,002\ 57 \pm 0,000\ 26) \text{ mm}$

$RON t = (0,04 \pm 0,04) \mu\text{m}$

Tabla 8. Resultados de redondez obtenidos (superficie superior)

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio de redondez, $RON t$ (sup)	0,030 μm				
Repetibilidad $RON t$ (sup)		0,002 μm	Normal	1	0,002 μm
Instrumento de medida		0,008 μm	Normal	1	0,008 μm
					0,008 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(ROnt \text{ (sup)}) = 2 \cdot 0,008 \mu\text{m} = 0,016 \mu\text{m}$

El resultado es $RON t \text{ (sup)} = (0,030 \pm 0,016) \mu\text{m}$

Tabla 9. Resultados de redondez obtenidos (superficie inferior)

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio de redondez, $RON\ t\ (inf)$	0,050				
Repetibilidad $RON\ t\ (inf)$		0,004 μm	Normal	1	0,004 μm
Instrumento de medida		0,008 μm	Normal	1	0,008 μm
					0,009 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(RON\ t\ (inf)) = 2 \cdot 0,009\ \mu\text{m} = 0,018\ \mu\text{m}$

El resultado es $RON\ t\ (inf) = (0,050 \pm 0,018)\ \mu\text{m}$

Tabla 10. Resultados del defecto de rectitud obtenido (generatriz 0°). Longitud del perfil medido: 25 mm

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio de rectitud, $STR\ t$	0,048 $\mu\text{m} / 25\ \text{mm}$				
Repetibilidad perfil 0°		0,006 μm	Normal	1	0,006 μm
Instrumento de medida		0,029 μm	Normal	1	0,029 μm
					0,030 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(STR\ t) = 2 \cdot 0,030\ \mu\text{m} = 0,060\ \mu\text{m}$

The result is $STR\ t\ (0^\circ) = (0,048 \pm 0,060)\ \mu\text{m}$

Se debe de tener en cuenta que el valor de rectitud se obtuvo del promedio de las mediciones realizadas en la generatriz de 0° del anillo con una longitud total de 25 mm. Las mediciones de rectitud se realizan con el fin de detectar desviaciones particulares de forma, pero su contribución no se incluye directamente en la estimación del diámetro.

Tabla 11. Resultados del defecto de rectitud obtenido (generatriz 90°). Longitud del perfil medido: 25 mm

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio de rectitud, STR_t	0,053 μm / 25 mm				
Repetibilidad perfil 90°		0,004 μm	Normal	1	0,004 μm
Instrumento de medida		0,029 μm	Normal	1	0,029 μm
					0,029 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(STR_t) = 2 \cdot 0,029 \mu\text{m} = 0,058 \mu\text{m}$

The result is $STR_t(90^\circ) = (0,053 \pm 0,058) \mu\text{m}$

Ha de considerarse que el valor de rectitud se ha obtenido del promedio de las mediciones realizadas en la generatriz de 90° del anillo con una longitud total de 25 mm. Las mediciones de rectitud se realizan con el fin de detectar desviaciones particulares de forma, pero su contribución no se incluye directamente en la estimación del diámetro.

Tabla 12. Resultados del defecto de rectitud obtenido (generatriz 180°). Longitud del perfil medido: 25 mm

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio de rectitud, STR_t	0,063 μm / 25 mm				
Repetibilidad perfil 180°		0,010 μm	Normal	1	0,010 μm
Instrumento de medida		0,029 μm	Normal	1	0,029 μm
					0,031 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(STR_t) = 2 \cdot 0,031 \mu\text{m} = 0,062 \mu\text{m}$

The result is $STR_t(180^\circ) = (0,063 \pm 0,062) \mu\text{m}$

Se debe de tener en cuenta que el valor de rectitud se ha obtenido del promedio de las mediciones realizadas en la generatriz de 180° del anillo con una longitud total de 25 mm. Las mediciones de rectitud se realizan con el fin de detectar desviaciones particulares de forma, pero su contribución no se incluye directamente en la estimación del diámetro.

Tabla 13. Resultados del defecto de rectitud obtenido (generatriz 270°). Longitud del perfil medido: 25 mm.

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio de rectitud, STR_t	0,042 μm / 25 mm				
Repetibilidad perfil 270°		0,013 μm	Normal	1	0,006 μm
Instrumento de medida		0,029 μm	Normal	1	0,029 μm
					0,032 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(STR_t) = 2 \cdot 0,032 \mu\text{m} = 0,064 \mu\text{m}$

The result is $STR_t(270^\circ) = (0,042 \pm 0,064) \mu\text{m}$

Se debe de tener en cuenta que el valor de rectitud se ha obtenido del promedio de las mediciones realizadas en la generatriz de 270° del anillo con una longitud total de 25 mm. Las mediciones de rectitud se realizan con el fin de detectar desviaciones particulares de forma, pero su contribución no se incluye directamente en la estimación del diámetro.

Nota: Los valores de rectitud y paralelismo son al menos tan importantes para la estimación de la incertidumbre del diámetro como los valores de redondez. En la mayoría de los casos son mucho mayores que estos últimos e incluso dominan el balance de incertidumbre.

Table 14. Resultados del paralelismo obtenidos (generatrices 0° - 180°). Longitud de los perfiles: 25 mm

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio de paralelismo, P	0,10 μm / 25 mm				
Repetibilidad perfil 0°		0,03 μm	Normal	1	0,03 μm
Repetibilidad perfil 180°		0,04 μm	Normal	1	0,04 μm
Instrumento de medida		0,15 μm	Normal	1	0,15 μm
					0,16 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(P) = 2 \cdot 0,16 \mu\text{m} = 0,32 \mu\text{m}$

El resultado es $P = (0,10 \pm 0,32) \mu\text{m}$

Nótese que el valor de paralelismo se obtuvo a partir del promedio de las mediciones realizadas entre dos generatrices del anillo (0° y 180°) con una longitud total de 25 mm. Las mediciones de paralelismo se realizan con el fin de detectar desviaciones particulares de forma, pero su contribución no se incluye directamente en la estimación del diámetro.

Table 15. Resultados de paralelismo obtenidos (generatrices 90° - 270°). Longitud de los perfiles: 25 mm.

Contribución	Estimación x_i	Incert. típica $u(x_i)$	Distrib. probabilidad	Coef. sensibilidad c_i	Contrib. Incert. $u_i(y)$
Valor medio de paralelismo, P	0,20 μm / 25 mm				
Repetibilidad perfil 90°		0,06 μm	Normal	1	0,06 μm
Repetibilidad perfil 270°		0,07 μm	Normal	1	0,07 μm
Instrumento de medida		0,15 μm	Normal	1	0,15 μm
					0,18 μm

Incertidumbre expandida: $U = 2 \cdot u(P) = 2 \cdot 0,18 \mu\text{m} = 0,36 \mu\text{m}$

El resultado es $P = (0,20 \pm 0,36) \mu\text{m}$

Se debe de tener en cuenta que el valor de paralelismo se obtuvo a partir del promedio de las mediciones realizadas entre dos generatrices del anillo (90° y 270°) con una longitud total de 25 mm. Las mediciones de paralelismo se realizan con el fin de detectar desviaciones particulares de forma, pero su contribución no se incluye directamente en la estimación del diámetro.

Tabla 17. Resultados que deberían figurar en el certificado relativo al Ejemplo 3: Calibración de diámetro, redondez, rectitud y paralelismo.

$h = 1/2H \text{ mm}$					
$D_{1/2}$ /mm		$U(k=2)$ / μm			
10,002 57		0,26			

Plano superior		Plano central ($H/2$)		Plano inferior	
$RON t_{sup}$ / μm	$U(k=2)$ / μm	$RON t_{1/2}$ / μm	$U(k=2)$ / μm	$RON t_{inf}$ / μm	$U(k=2)$ / μm
0,030	0,016	0,040	0,040	0,050	0,018

	<i>STR</i> t/25 mm /μm	<i>U</i> (<i>k</i> = 2) /μm
Generatriz 0°	0,048	0,060
Generatriz 90°	0,053	0,058
Generatriz 180°	0,063	0,062
Generatriz 270°	0,042	0,064

	<i>P</i> / 25 mm /μm	<i>U</i> (<i>k</i> = 2) /μm
Generatriz 0° - 180°	0,10	0,32
Generatriz 90° - 270°	0,20	0,36