



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
**E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial**

escuela técnica superior de
ingeniería
y **d**iseño
industrial

Metrología Dimensional



Mediciones Dimensionales

- **En general, la finalidad básica de las mediciones dimensionales es determinar, con la exactitud requerida, las magnitudes particulares sometidas a medición (mensurandos pertenecientes a las magnitudes generales longitud y ángulo plano).**
- **En la producción, garantizar y verificar la concordancia del producto fabricado con sus especificaciones de diseño.**
- **La necesidad actual de una mayor exactitud en las mediciones procede de las nuevas exigencias:**
 - Tolerancias de fabricación más estrechas,
 - Compactación y miniaturización de componentes y productos (p. ej., microelectrónica),
 - Diseño compensado entre fuerzas y tensiones,



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
**E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial**

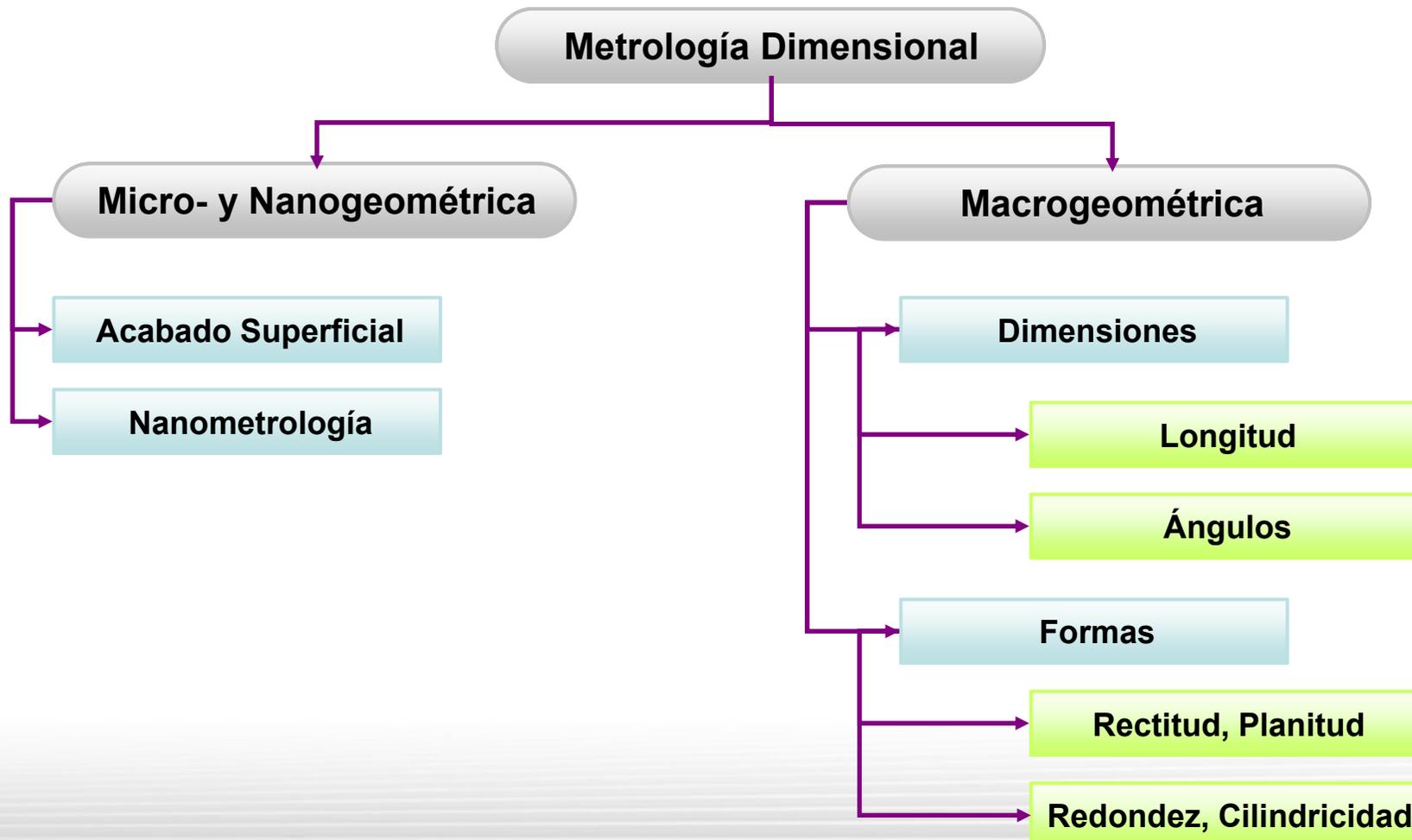
escuela técnica superior de
ingeniería
y **diseño**
industrial

Mediciones Dimensionales

- **La necesidad actual de una mayor exactitud en las mediciones procede de las nuevas exigencias:**
 - Mayor precisión operacional y mejores prestaciones en sistemas dinámicos, lo que implica tolerancias de posición, forma geométrica y calidad superficial más estrechas,
 - Ensamblado automático a altas velocidades,
 - Intercambiabilidad general de piezas, componentes y repuestos (globalización),
 - Fiabilidad en el funcionamiento de máquinas y fabricaciones en general.

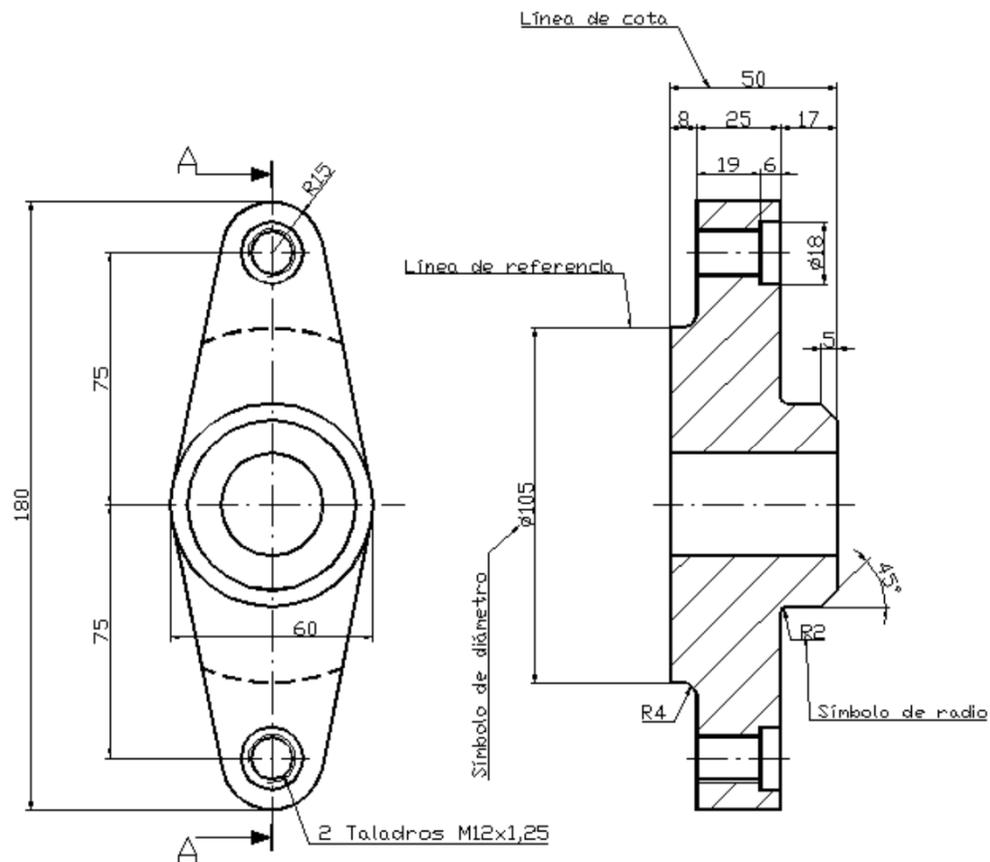


División clásica de la Metrología Dimensional





Tolerancias



Los planos de fabricación deben incluir:

- cotas y tolerancias dimensionales
- cotas y tolerancias angulares
- tolerancias geométricas (forma y posición)
- tolerancias microgeométricas (acabado superficial)

Para acotar un plano es necesario conocer bien:

- El material a emplear
- El proceso productivo
- La funcionalidad de la pieza
- Las técnicas e instrumentos de medición



POLITÉCNICA

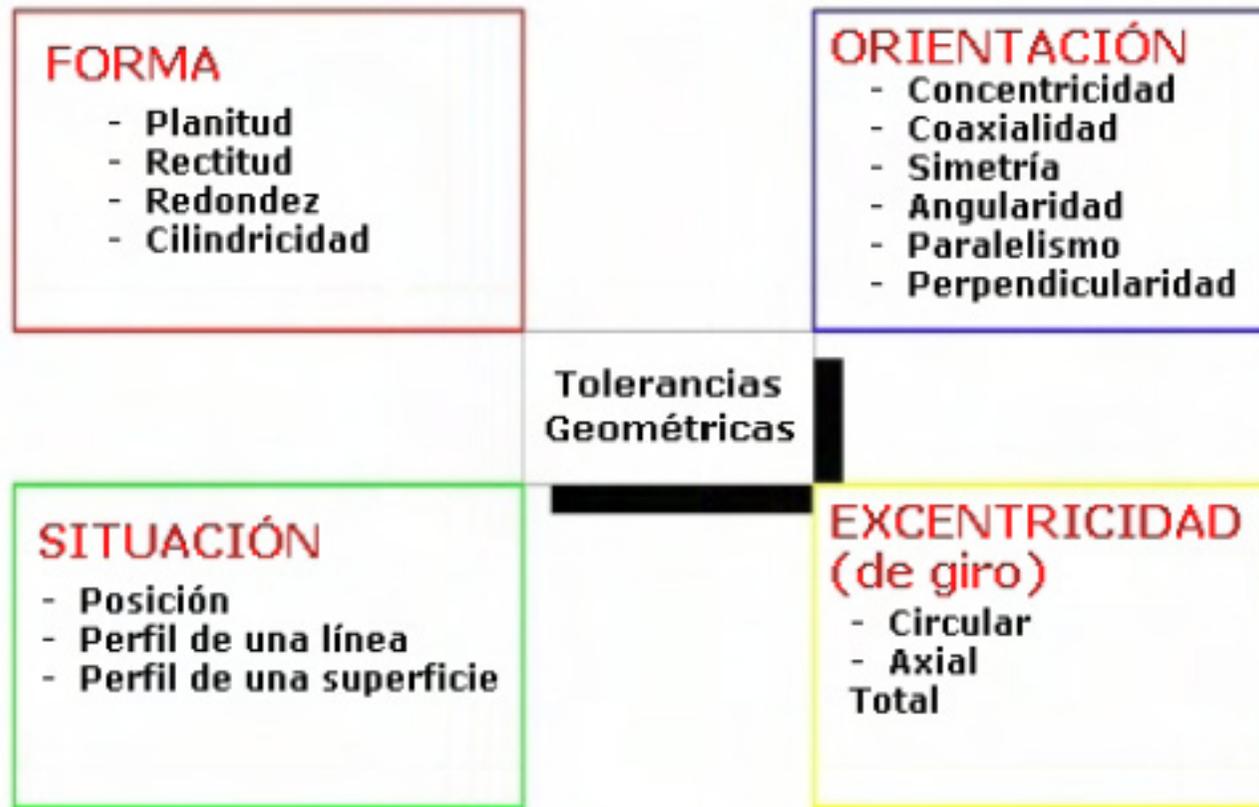
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Tolerancias geométricas



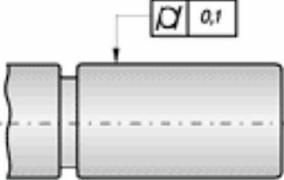
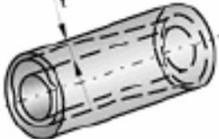
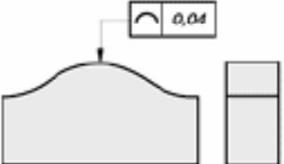
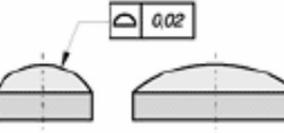


Tolerancias geométricas

Símbolos y propiedades de las tolerancias		Indicación en los planos y Explicación		
		Indicación en el plano	Zona de tolerancia	Explicación
—	Restitud			El eje del cilindro asociado a los límites de tolerancia debe hallarse dentro de un cilindro de diámetro 0,08 mm
	Planitud			La superficie debe estar entre dos planos paralelos separados entre sí 0,08 mm
	Redondez			La circunferencia de cualquier sección transversal debe hallarse entre dos círculos coplanares concéntricos separados 0,1 mm



Tolerancias geométricas

Símbolos y propiedades de las tolerancias	Indicación en los planos y Explicación		
	Indicación en el plano	Zona de tolerancia	Explicación
 <p>Cilindricidad</p>			<p>La superficie cilíndrica debe hallarse entre dos cilindros coaxiales separados 0,1 mm</p>
 <p>Perfil de una línea</p>			<p>En cualquier sección paralela a la superficie, el perfil debe hallarse entre dos líneas que envuelven círculos de diámetro 0,04 mm, cuyos centros se sitúan en una línea de forma geométrica ideal</p>
 <p>Perfil de una superficie</p>		 <p>Esfera $\varnothing 1$</p>	<p>La superficie debe hallarse entre dos superficies que envuelven esferas de diámetro 0,02 mm, cuyos centros se sitúan sobre una superficie de forma geométrica ideal</p>



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
**E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial**

escuela técnica superior de
ingeniería
y **diseño**
industrial

Imperfecciones en metrología dimensional

Origen de los defectos macrogeométricos

- Precisión de las máquinas-herramienta utilizadas en la fabricación, y el estado de conservación de las mismas, en el momento de la mecanización de las piezas.
- Calidad y estado de desgaste de la herramienta de mecanización.
- Deformaciones elásticas de la pieza, en su fijación a la máquina.
- Deformaciones debidas a dilatación térmica, tanto de la pieza como de la máquina, en función de sus respectivas temperaturas durante el proceso de mecanizado.



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Imperfecciones en metrología dimensional

Origen de los defectos microgeométricos

- Las causas a que obedecen los defectos microgeométricos son también variadas, pero **ligadas a la máquina herramienta que produce la pieza**:
 - Filo de la herramienta
 - Velocidad de giro
 - Avance del husillo
 - Vibraciones, etc.
- Características como resistencia al desgaste, rodadura, deslizamiento, propiedades de lubricación, resistencia a la fatiga, intercambiabilidad funcional, resistencia a la corrosión, etc. están ligadas al estado superficial del elemento en cuestión.



Mediciones dimensionales

- Para realizar una **medición**, es necesario hacer previamente un estudio cuidadoso de:
 - El **mensurando**
 - Las **condiciones ambientales** existentes
 - El **proceso** a seguir (método y procedimiento)
 - Las **normas aplicables**, si es el caso
 - Los **instrumentos** a emplear (características metrológicas)
- El objetivo de una *medición* es determinar el valor del *mensurando*; esto es, el valor de la *magnitud particular* sometida a medición.
- El **resultado** de una medición es solo una aproximación o estimación del valor del mensurando. Únicamente se halla completo cuando está acompañado de su incertidumbre.
- **Incertidumbre** de medición: Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mensurando.



Fuentes de incertidumbre en metrología dimensional

- En la práctica existen muchas posibles fuentes de incertidumbre en una medición, entre ellas:
 - Definición incompleta del mensurando.
 - Realización imperfecta de la definición del mensurando.
 - Muestra no representativa del mensurando.
 - Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre la medición, o medición imperfecta de dichas condiciones ambientales.
 - Lectura sesgada de instrumentos analógicos por parte del operador.
 - Resolución del instrumento de medida.
 - Valores inexactos de los patrones de medida y/o de los materiales de referencia.
 - Valores inexactos de constantes y otros parámetros obtenidos de fuentes externas y utilizados en el algoritmo de tratamiento de datos.
 - Aproximaciones y suposiciones establecidas en el método y procedimiento de medición.
 - Variaciones en la repetición de las observaciones del mensurando bajo condiciones aparentemente idénticas.



Precauciones a considerar en medidas dimensionales

- Cuando se pretende medir con cierta exactitud la longitud de un objeto material, es necesario conocer su **temperatura**, así como el valor del **coeficiente de dilatación**.
- Las mediciones de gran exactitud únicamente pueden realizarse en locales que cumplan las características siguientes:
 - **Temperatura constante:** Los resultados de medida vienen referidos a 20°C , por tanto es indispensable trabajar en un local cuya temperatura sea lo más próxima posible a esta referencia.
 - **Ausencia de vibraciones:** Las vibraciones podrían dar lugar a desplazamientos imperceptibles de las muestras bajo medición, o de ciertos órganos de las máquinas de medición, o generar un ruido que hiciera imposible la medición.
 - Grado higrométrico adecuado.
 - Limpieza y ausencia de polvo.
- Tras haber adoptado las precauciones necesarias para obtener una buena estabilidad en temperatura, y para eliminar las vibraciones, la regulación del grado de humedad y el trabajo en ausencia de polvo son fáciles de conseguir.



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Influencias y errores

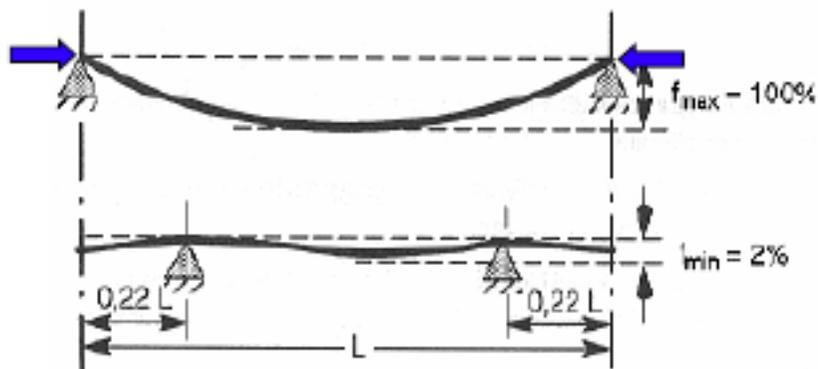
INFLUENCIAS:

- **temperatura**: constancia, variación temporal, variación espacial
- vibraciones
- **humedad** adecuada
- índice de refracción del aire [$n = f(t, p, hr, CO_2)$]
- **dilatación térmica** de los materiales
- limpieza y ausencia de **polvo**

- error de coseno
- error de Abbe
- manipulación adecuada
- **flexión** de patrones/piezas sobre apoyos inadecuados (Airy, Bessel)
- deformación de Hertz, debida a la **fuerza de contacto**

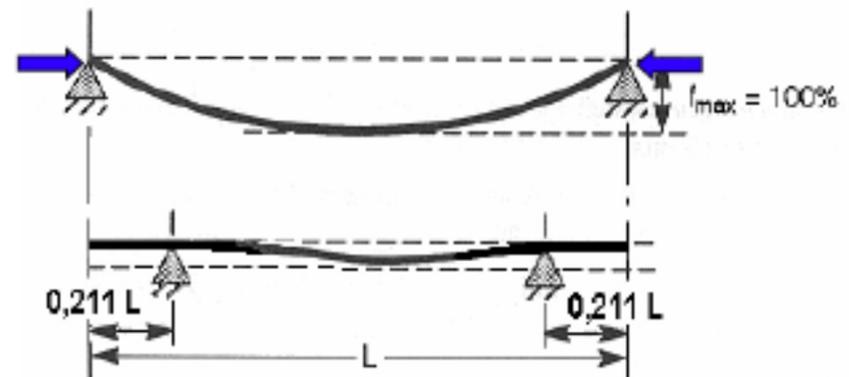


Influencias y errores. Deformación de un patrón por flexión



**Puntos de apoyo para flexión mínima
(puntos de Bessel) (reglas a trazos)**

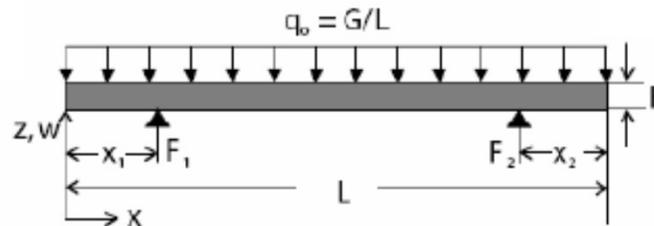
**Puntos de apoyo para mantener extremos
horizontales y caras extremas verticales y
paralelas entre si
(puntos de Airy) (bloques patrón
longitudinales)**





Influencias y errores. Deformación de un patrón por flexión

Distintas posiciones de los apoyos de una regla



Descripción	Ecuación	Posición relativa del apoyo $u_s = x_s/L$
Momento en los extremos igual a momento en el centro	$M(L) = M(0) = -M(L/2)$	$\frac{\sqrt{2}-1}{2} \cong 0.2071$
Ángulo nulo en los extremos (puntos de Airy)	$\varphi = \left[\frac{dw}{dx} \right]_{x=0,L} = 0$	$\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{6} \cong 0.2113$
Flecha nula en los extremos	$w(0) = w(L) = 0$	$2 \left\{ \sqrt{6} \cos \left[\frac{1}{3} \left(\pi + \arctan \left(\frac{\sqrt{23}}{29} \right) \right) \right] - 1 \right\} \cong 0.2142$
Se anulan las variaciones del coeficiente de la regla (pendiente b)	$\Delta b = 0$	$\frac{1}{2} (1 - \sqrt{3(1 - 2\sqrt{5}/5)}) \cong 0.2186$
El error proyectado resulta minimizado (puntos de Bessel)	$\frac{d}{du_s} \left[\int_0^L \frac{1}{2} \left(\frac{dw(x, u_s)}{dx} \right)^2 dx \right] = 0$	$-\frac{9}{2} + \frac{1}{2}z - \frac{1}{2}(265 - z^2 - 1650/z)^{1/2} \cong 0.2203$
Flecha en los extremos igual a flecha en el centro	$w(L/2) = w(0)$	$\cos \left[\frac{1}{3} \left(\pi + \arctan \left(\frac{\sqrt{39}}{5} \right) \right) \right] \cong 0.2231$
Flecha nula en el centro	$w(L/2) = 0$	$\frac{1}{2}(\sqrt{30} - 5) \cong 0.2386$

$$z = \left[\frac{265}{3} + \frac{2\sqrt{295}}{3} \cos \left\{ \frac{1}{3} \arctan \left[\frac{9\sqrt{9831/5}}{71} \right] \right\} \right]^{1/2}$$

Metrologia 46 (2009) 187-195,
Influence of sample support on measuring line scales,
R Köning, B Przebierala, C Weichert, J Flügge, H Bosse



Influencias y errores. Índice de refracción del aire

$$n = 1 + \left[8091,37 + \frac{2333983}{130 - \left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2} + \frac{15518}{38,9 - \left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2} \right] \cdot \frac{p}{93214,60} \cdot \left(\frac{1 + 10^{-8} \cdot (0,5953 - 0,009876 \cdot t) \cdot p}{1 + 0,0036610 \cdot t} \right) \cdot 10^{-8}$$
$$- \frac{h}{100} \cdot e^{\left(1,2378847 \cdot 10^{-5} \cdot (273,15+t)^2 - 1,9121316 \cdot 10^{-2} \cdot (273,15+t) + 33,93711047 + \frac{-6,3431645 \cdot 10^3}{(273,15+t)} \right)} \cdot \left(3,8020 - 0,0384 \cdot \left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 \right) \cdot 10^{-10}$$



POLITÉCNICA

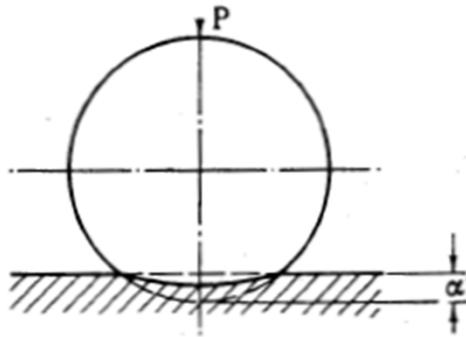
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Influencias y errores. Deformación de hertz por fuerza de contacto

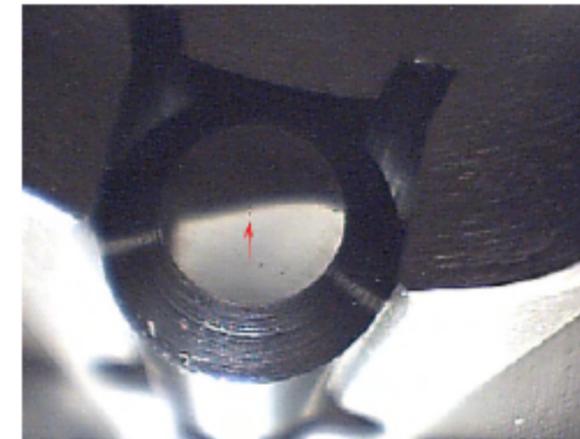


Bloque patrón a calibrar	Bloque patrón de referencia		
	Acero	Carburo	Ceramica
Acero	-	+ 0,07 μm	- 0,03 μm
Carburo	- 0,07 μm	-	☆
Ceramica	+ 0,03 μm	☆	-



$$\alpha = \frac{(3\pi)^{\frac{2}{3}} \cdot P^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{1-\sigma_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\sigma_2^2}{\pi E_2} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{1}{D} \right)^{\frac{1}{3}}}{2}$$

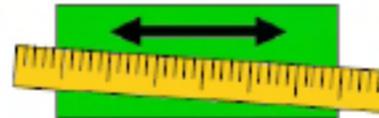
- o Fuerza de palpado
- o Propiedades elásticas de los materiales
- o Diámetro punta del palpador





Influencias y errores. Error de coseno

Regla no paralela al movimiento



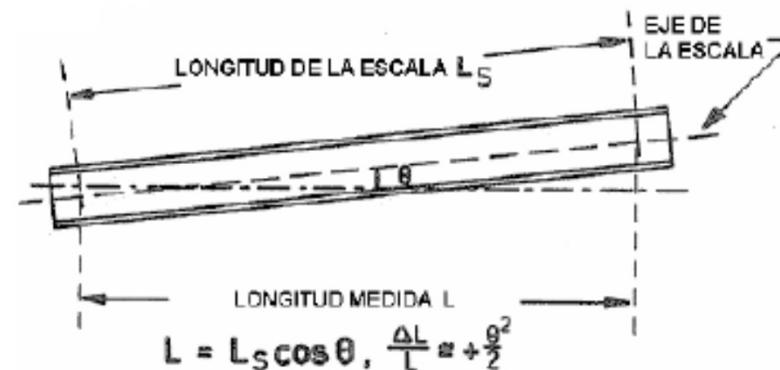
Pieza no paralela al movimiento



Pieza no paralela a la escala

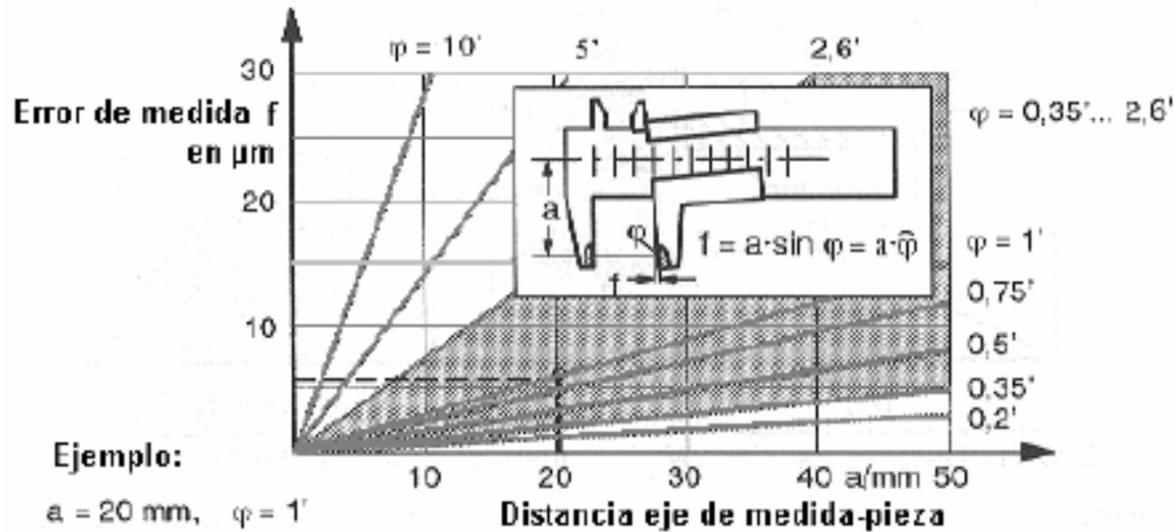


$$\delta L = L(1 - \cos \alpha) \approx \frac{1}{2} \alpha^2 L$$





Influencias y errores. Error de abbe



Ejemplo:

$a = 20 \text{ mm}$, $\varphi = 1'$

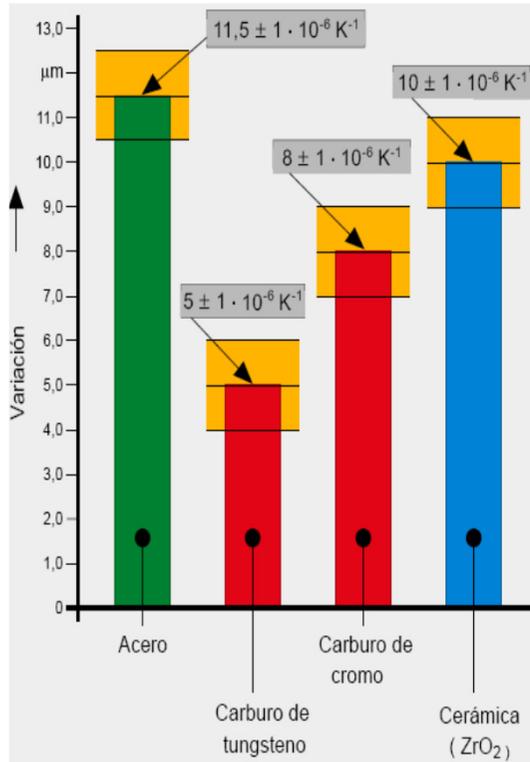
$\rightarrow f = a \cdot \tan \varphi = a \cdot \sin \varphi = a \cdot \widehat{\varphi} = 6 \mu\text{m}$

$$e_{abbe} = a \cdot \text{sen} \varphi$$

Error de Abbe en un calibre pie de rey



Influencias y errores. Dilatación térmica



$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot (T - 20)$$

- o Longitud nominal del mensurando
- o Coeficiente de dilatación térmica del mensurando
- o Temperaturas del mensurando



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

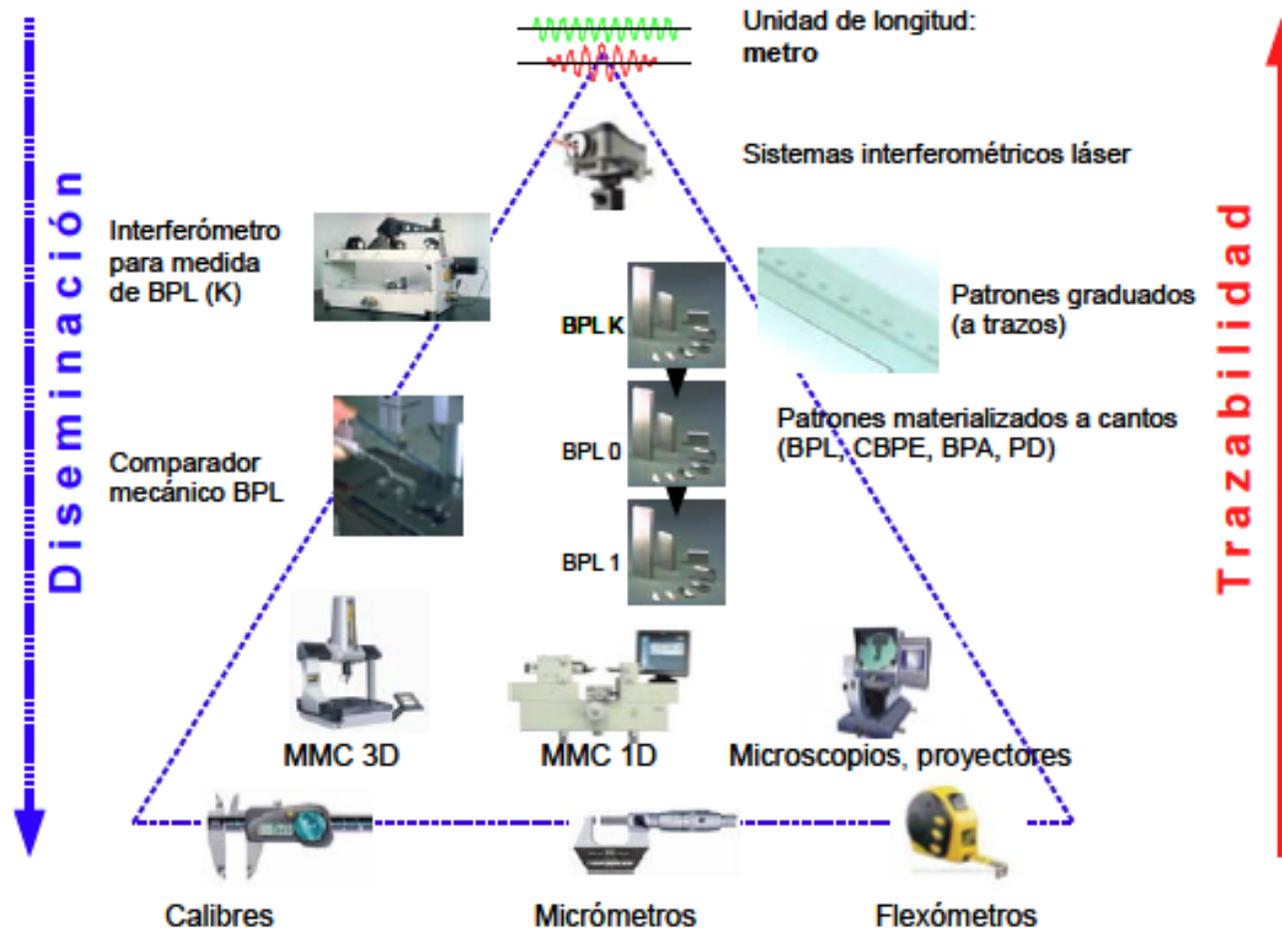
CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
**E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial**

escuela técnica superior de
**ingeniería
y diseño
industrial**

Trazabilidad de los instrumentos de metrología dimensional

Esquema de Trazabilidad / Diseminación de la unidad de longitud: metro





Definición

4.1 (3.2)

indicación, f

valor proporcionado por un **instrumento** o **sistema de medida**

NOTA 1: La indicación puede presentarse en forma visual o acústica, o puede transferirse a otro dispositivo. Frecuentemente viene dada por la posición de una aguja en un cuadrante para salidas analógicas, por un número visualizado o impreso para salidas digitales, por un código para salidas codificadas, o por el valor asignado para el caso de **medidas materializadas**.

NOTA 2: La indicación y el valor de la **magnitud** medida correspondiente no son necesariamente valores de magnitudes de la misma **naturaleza**.



Características metrológicas destacables

4.12 (5.10)

sensibilidad de un sistema de medida, f

sensibilidad, f

cociente entre la variación de una **indicación** de un **sistema de medida** y la variación correspondiente del **valor** de la **magnitud** medida

NOTA 1: La sensibilidad puede depender del valor de la magnitud medida.

NOTA 2: La variación del valor de la magnitud medida debe ser grande en comparación con la **resolución**.

NOTA 3: Es la pendiente de la curva de calibración. Si es una recta, la sensibilidad es constante. Ej. coef. de sensibilidad: 10 mV/mm.



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Características metrológicas destacables

4.14

resolución, f

mínima variación de la **magnitud** medida que da lugar a una variación perceptible de la **indicación** correspondiente

NOTA: La resolución puede depender, por ejemplo, del ruido (interno o externo) o de la fricción. También puede depender del **valor** de la magnitud medida.



Características metrológicas destacables

4.19 (5.14)

estabilidad de un instrumento de medida, f

estabilidad, f

propiedad de un **instrumento de medida** por la que éste conserva constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo

NOTA: La estabilidad puede expresarse cuantitativamente de varias formas.

EJEMPLO 1: Mediante un intervalo de tiempo en el curso del cual una característica metrológica varía una cantidad determinada.

EJEMPLO 2: Por la variación de una propiedad en un intervalo de tiempo determinado.



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

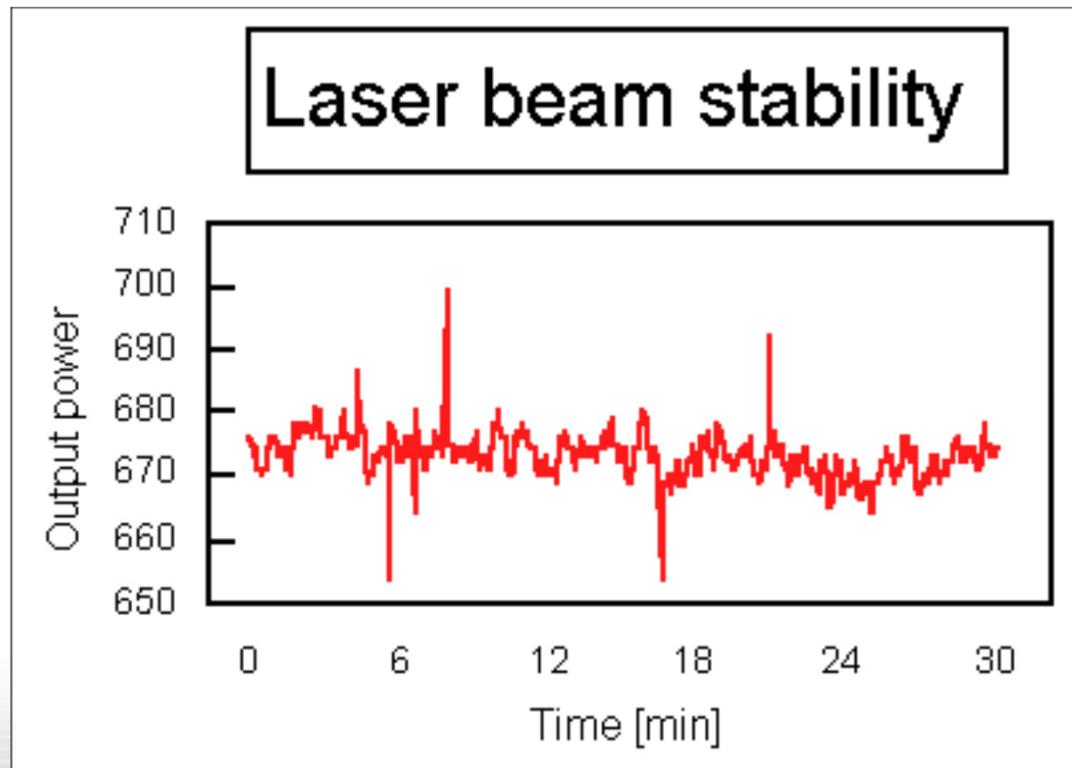
escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Características metrológicas destacables

4.19 (5.14)

estabilidad de un instrumento de medida, f

estabilidad, f





POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Características metrológicas destacables

4.21 (5.16)

deriva instrumental, f

variación continua o incremental de una **indicación** a lo largo del tiempo, debida a variaciones de las características metrológicas de un **instrumento de medida**

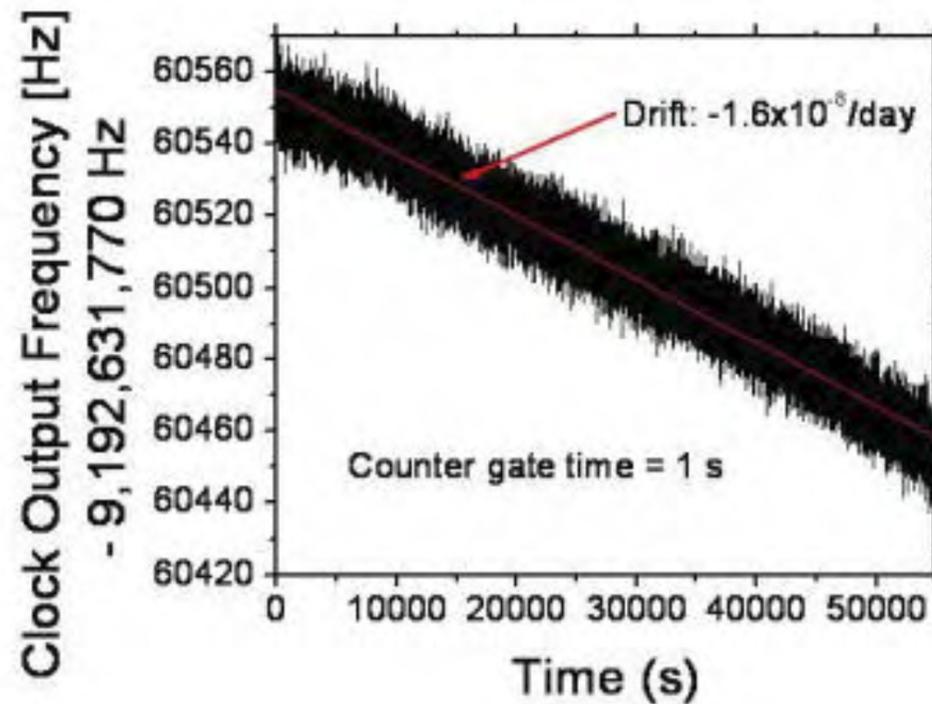
NOTA: La deriva instrumental no se debe a una variación de la **magnitud** medida, ni a una variación de una **magnitud de influencia** identificada.



Características metroológicas destacables

4.21 (5.16)

deriva instrumental, f





POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Características metrológicas destacables

4.21 (5.16)

deriva instrumental, f

variación continua o incremental de una **indicación** a lo largo del tiempo, debida a variaciones de las características metrológicas de un **instrumento de medida**

NOTA: La deriva instrumental no se debe a una variación de la **magnitud** medida, ni a una variación de una **magnitud de influencia** identificada.



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Características metrológicas destacables

4.23 (5.17)

tiempo de respuesta a un escalón, m

intervalo de tiempo comprendido entre el instante en que un **valor de la magnitud** de entrada de un **instrumento** o **sistema de medida** sufre un cambio brusco entre dos valores constantes especificados, y el instante en que la **indicación** correspondiente se mantiene entre dos límites especificados, alrededor de su valor final en régimen estacionario



Características metrológicas destacables

2.13 (3.5)

exactitud de medida, f

exactitud, f

proximidad entre un **valor medido** y un **valor verdadero** de un **mensurando**

NOTA 1: El concepto "exactitud de medida" no es una **magnitud** y no se expresa numéricamente. Se dice que una **medición** es más exacta cuanto más pequeño es el **error de medida**.

NOTA 2: El término "exactitud de medida" no debe utilizarse en lugar de **veracidad de medida**, al igual que el término "precisión de medida" tampoco debe utilizarse en lugar de "exactitud de medida", ya que esta última incluye ambos conceptos.

NOTA 3: La exactitud de medida se interpreta a veces como la proximidad entre los valores medidos atribuidos al mensurando.



Características metrológicas destacables

2.15

precisión de medida, f

precisión, f

proximidad entre las **indicaciones** o los **valores medidos** obtenidos en **mediciones** repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas

NOTA 1: Es habitual que la precisión de una medida se exprese numéricamente mediante medidas de dispersión tales como la desviación típica, la varianza o el coeficiente de variación bajo las condiciones especificadas.

NOTA 2: Las "condiciones especificadas" pueden ser **condiciones de repetibilidad**, **condiciones de precisión intermedia**, o **condiciones de reproducibilidad** (véase la norma ISO 5725-1:1994).



Características metrológicas destacables

2.15

precisión de medida, f

precisión, f

NOTA 3: La precisión se utiliza para definir la **repetibilidad de medida**, la **precisión intermedia** y la **reproducibilidad**.

NOTA 4: Con frecuencia, "precisión de medida" se utiliza, erróneamente, en lugar de **exactitud de medida**.



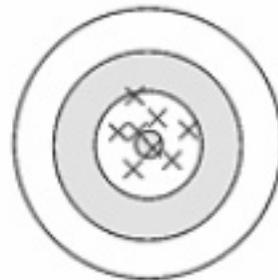
POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

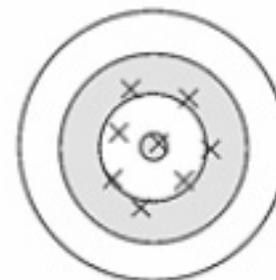
Universidad Politécnica de Madrid
**E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial**

escuela técnica superior de
ingeniería
y **diseño**
industrial

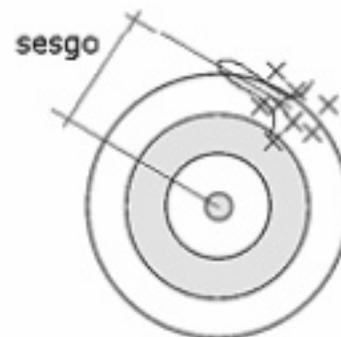
Características metrológicas destacables



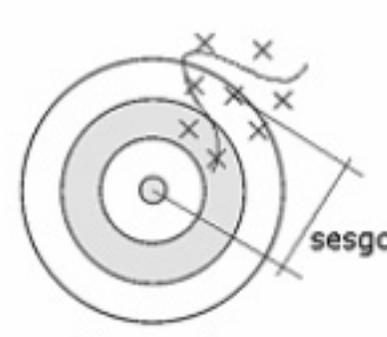
1 Exacto
y preciso



2 Exacto pero
no preciso



3 Preciso pero
no exacto



4 Ni preciso
ni exacto



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Características metrológicas destacables

2.18

sesgo de medida, m

sesgo, m

valor estimado de un **error sistemático**



Características metroológicas destacables

2.17 (3.14)

error sistemático de medida, m

error sistemático, m

componente del **error de medida** que, en **mediciones** repetidas, permanece constante o varía de manera predecible

NOTA 1: El **valor de referencia** para un error sistemático es un **valor verdadero**, un **valor medido** de un **patrón** cuya **incertidumbre de medida** es despreciable, o un **valor convencional** de una magnitud.

NOTA 2: El error sistemático y sus causas pueden ser conocidas o no. Para compensar un error sistemático conocido puede aplicarse una **corrección**.

NOTA 3: El error sistemático es igual a la diferencia entre el error de medida y el **error aleatorio**.



Características metrológicas destacables

2.19 (3.13)

error aleatorio de medida, m

error aleatorio, m

componente del **error de medida** que, en **mediciones** repetidas, varía de manera impredecible

NOTA 1: El **valor de referencia** para un error aleatorio es la media que se obtendría de un número infinito de mediciones repetidas del mismo **mensurando**.

NOTA 2: Los errores aleatorios de un conjunto de mediciones repetidas forman una distribución que puede representarse por su esperanza matemática, generalmente nula, y por su varianza.

NOTA 3: El error aleatorio es igual a la diferencia entre el error de medida y el **error sistemático**