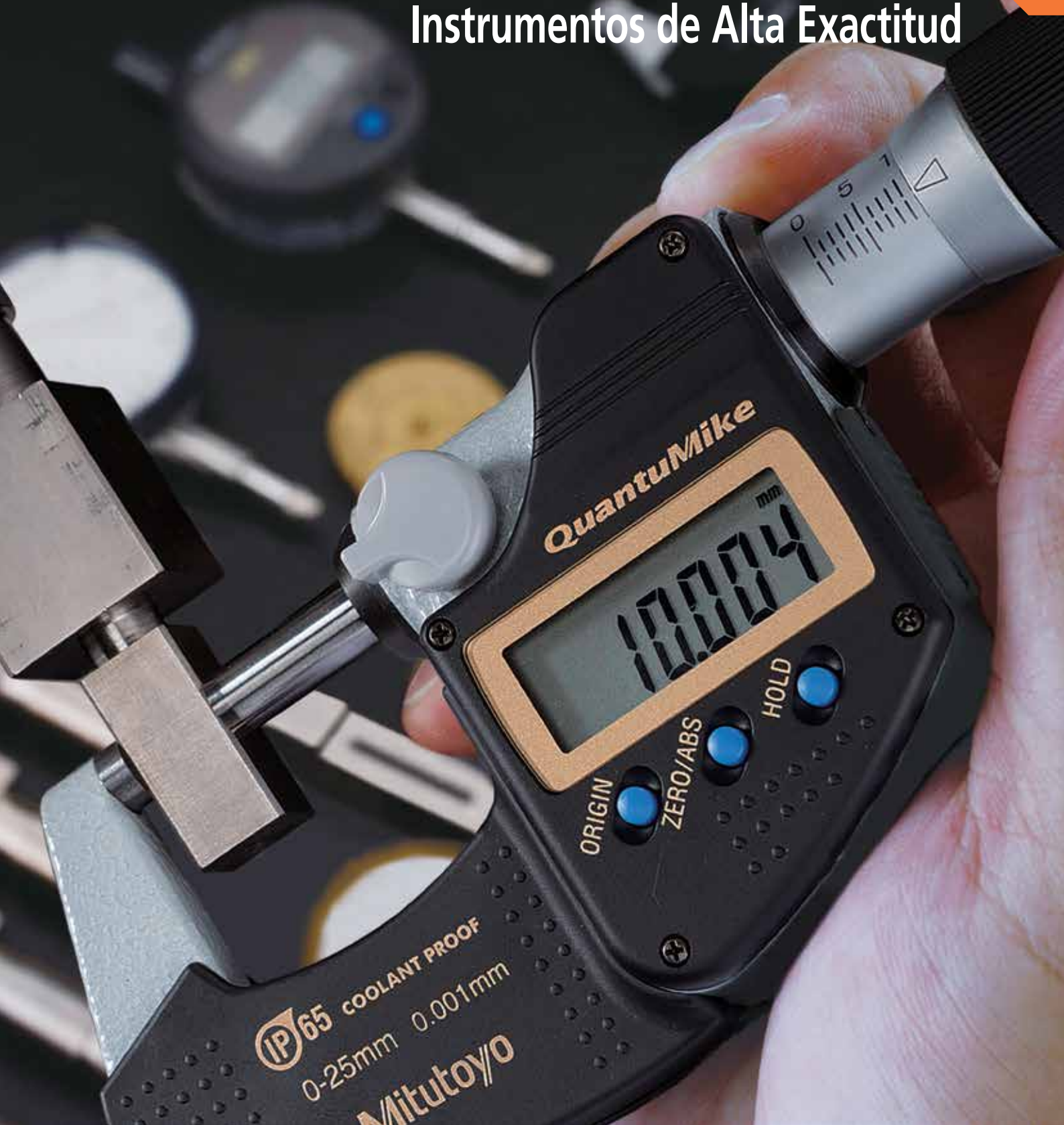


Mitutoyo

Guía Rápida de Medición para Instrumentos de Alta Exactitud



IP65 COOLANT PROOF
0-25mm 0.001mm
Mitutoyo

Significado de los Símbolos	2
Tecnología AOS	3
Marcado CE	3
Control de Calidad	4
Micrómetros	6
Cabezas de Micrométricas	13
Micrómetros para Interiores	16
Calibradores	17
Medidores de Altura	22
Bloques Patrón	26
Indicadores de Carátula e Indicadores Digitales	27
Medidores Lineales	32
Micrómetros de Escanéo Láser	36
Escalas Lineales	38
Proyectores de Perfiles	39
Microscopios	40
Máquinas de Medición por Visión	42
Medidor de Rugosidad Superficial (Surftest)	44
Equipos de Medición de Contorno (Contracer)	46
Equipos de Medición de Redondez (Roundtest)	48
Equipos para Medición de Dureza	50
Máquinas de Medición por Coordenadas	52



Significado de los Símbolos

ABSOLUTE®

ABSOLUTE® es marca registrada de Mitutoyo Corporation

Codificador Lineal ABSOLUTE

Es una escala de medición electrónica que proporciona una lectura directa de la posición lineal absoluta cuando se enciende, sin necesidad de poner o reestablecer a cero. Los instrumentos de medición Mitutoyo que incorporan estas escalas proporcionan el beneficio significativo de estar siempre listos para iniciar la medición sin la necesidad de un ajuste preliminar después de que se apagan. La electrostática, la electromagnética y una combinación de métodos electrostáticos y ópticos se utilizan en la implementación de esta capacidad pero la clave que permite esta característica es la tecnología patentada por Mitutoyo de integrar la información de la posición absoluta en la escala de forma que se puede leer desde el inicio de la operación. Estos codificadores lineales son ampliamente utilizados en los instrumentos de medición de Mitutoyo; como el patrón de longitud incorporado y su uso contribuye en gran medida a la generación de datos de medición altamente confiables en la industria, especialmente en ambientes hostiles donde la contaminación por los fluidos de corte, refrigerantes y el polvo no debe afectar al rendimiento.

Ventajas:

1. Sin error de conteo aún si el cursor o el husillo se mueven extremadamente rápido.
2. No se tiene que reestablecer el cero del sistema cuando se enciende nuevamente^{*1}.
3. Ya que este tipo de codificador puede funcionar con menos consumo de energía que un codificador incremental, la vida de la pila se prolonga aproximadamente a 3.5 años (operación continua de 20,000 horas)^{*2} bajo uso normal.

*1: No incluye el caso en donde la pila se retira.
*2: En caso de un calibrador Digimatic ABSOLUTE.

- El codificador absoluto de tipo capacitancia electrostática está protegido por patente en Japón, Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Suecia, Suiza y China.
- El codificador absoluto de tipo inducción electromagnética está protegido por patente en Japón, Estados Unidos y China. Una patente se tramita en este codificador en Europa (Inglaterra, Alemania y Francia).
- El codificador absoluto que combina la capacitancia electrostática y métodos ópticos está protegido en Japón, Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Suecia, Suiza y China.

Códigos IP (Protección Internacional)

Son normas en códigos de protección con respecto al ingreso de cuerpos extraños y agua basado en las normas IEC (IEC 60529) y JIS C 0920. Hemos incorporado los códigos de protección IP65, IP66 e IP67, lo que hace posible el uso en un ambiente hostil, debido al desarrollo del nuevo sistema de medición de longitud.

[IEC: Comisión Electrotécnica Internacional]



IP es marca registrada de Mitutoyo Corporation

Primer número característico	Grado de protección contra objetos sólidos extraños	
	Breve descripción	Definición
0	Sin protección	—
1	Protegido contra objetos sólidos extraños de $\phi 50\text{mm}$ o mayores	Un objeto de $\phi 50\text{mm}$ no deberá penetrar completamente en la carcasa*
2	Protegido contra objetos sólidos extraños de $\phi 12.5\text{mm}$ o mayores	Un objeto de $\phi 12.5\text{mm}$ no deberá penetrar completamente en la carcasa*
3	Protegido contra objetos sólidos extraños de $\phi 2.5\text{mm}$ o mayores	Un objeto de $\phi 2.5\text{mm}$ no deberá penetrar completamente en la carcasa*
4	Protegido contra objetos sólidos extraños de $\phi 1.0\text{mm}$ o mayores	Un objeto de $\phi 1.0\text{mm}$ no deberá penetrar completamente en la carcasa*
5	Protección contra el polvo	El ingreso de polvo no está totalmente impedido, pero el polvo que penetra no debe interferir con el buen funcionamiento del instrumento o poner en peligro la seguridad
6	Sellado contra el polvo	No permite el ingreso de polvo

*Para detalles de las condiciones del ensayo usado en la evaluación de cada grado de protección, por favor refiérase a la norma original.

Segundo número característico	Grado de protección contra agua	
	Breve descripción	Descripción
0	Sin protección	—
1	Protegido contra el goteo vertical de agua	La caída vertical de gotas de agua no deberán tener efectos dañinos
2	Protegido contra el goteo vertical de agua dentro de un ángulo de inclinación de 15°	La caída vertical de gotas de agua no deberán tener efectos dañinos cuando la carcasa está inclinada en cualquier ángulo hasta 15° a cada lado de la vertical
3	Protegido contra el rocío de agua	El agua rociada en un ángulo hasta 60° a cada lado de la vertical no deberá tener efectos dañinos
4	Protegido contra la salpicadura de agua	El agua salpicada contra la carcasa desde cualquier dirección no deberá tener efectos dañinos
5	Protegido contra chorros de agua	El agua proyectada en chorros contra la carcasa desde cualquier dirección no deberá tener efectos dañinos
6	Protegido contra chorros potentes de agua	El agua proyectada en chorros potentes contra la carcasa desde cualquier dirección no deberá tener efectos dañinos
7	Protegido contra la penetración de agua	No debe ser posible el ingreso de agua en cantidades que cause efectos dañinos cuando la carcasa se sumerge temporalmente en agua bajo condiciones normalizadas de presión y tiempo
8	Protegido contra los efectos de inmersión continua en agua	No debe ser posible el ingreso de agua en cantidades que cause efectos dañinos cuando la carcasa se sumerge continuamente en agua bajo condiciones que deben ser acordadas entre el fabricante y el usuario pero que son mas severas que IPX7

Acercas de la marca de certificación TÜV Rheinland

Todos los productos con la marca que se muestra a la izquierda han pasado la prueba de IP realizada por la organización de acreditación alemana TÜV Rheinland



www.tuv.com
ID 0000006683



AOS

AOS es marca registrada de
Mitutoyo Corporation

Tecnología AOS (Advanced On site Encoder)

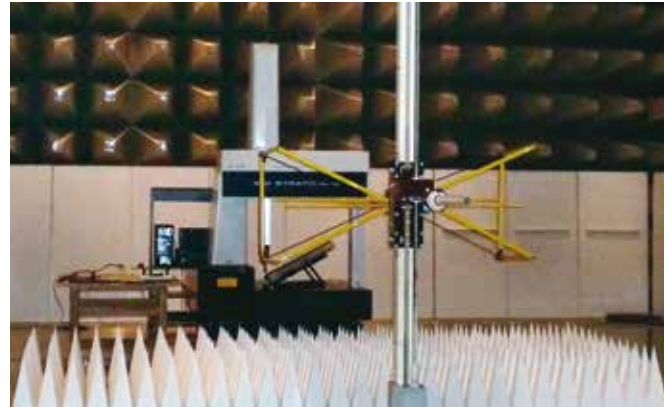
Este patentado Sensor Avanzado en Sitio ofrece una mayor confiabilidad de medición al aumentar la resistencia a las condiciones adversas del taller. El nuevo sensor inductivo electromagnético repele la suciedad de aceite y agua que puedan causar lecturas falsas.

3

CE

Marcado CE

Con el fin de mejorar la seguridad, cada planta cuenta con programas para el cumplimiento de las Directivas de Máquina, las Directivas EMC y la Directiva de Baja Tensión. La conformidad con el marcado CE también es satisfactoria. CE significa "Conformidad Europea". El marcado CE indica que un producto cumple los requisitos esenciales de la legislación europea de salud, seguridad y protección del medio ambiente.





■ Control de Calidad (QC)

Un sistema para productos o servicios que se producen económicamente con una calidad que cumple las exigencias del cliente.

■ Control de calidad del proceso

Actividades para reducir la variación en la salida de productos por medio de un proceso y mantener esta variación baja. A través de estas actividades se promueven la mejora y estandarización de los procesos además de la acumulación de tecnología.

■ Control estadístico de procesos (SPC)

Control de calidad de procesos a través de métodos estadísticos.

■ Población

Un grupo de todos los elementos que tienen características a considerar para mejorar y controlar los procesos y la calidad del producto. Un grupo que se trata tomando como base las muestras es normalmente la población representada por las muestras.

■ Lote

Colección de producto producido bajo las mismas condiciones.

■ Muestra

Un elemento del producto (o elementos) extraídos de la población para investigar sus características.

■ Tamaño de la muestra

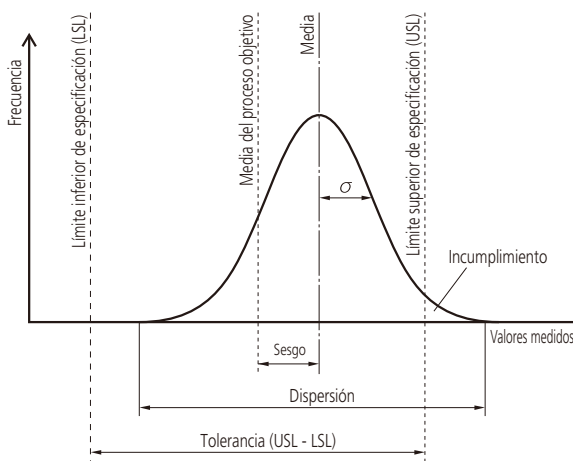
Número de elementos del producto en la muestra.

■ Sesgo

Valor calculado restando el valor verdadero de la media de los valores medidos cuando se realizan mediciones múltiples.

■ Dispersión

Variación en los valores de una característica objetivo en relación con el valor medio. La desviación estándar se utiliza normalmente para representar la dispersión de los valores alrededor de la media.



■ Histograma

Un diagrama que divide el rango entre los valores máximos y mínimos medidos en varias divisiones y muestra el número de valores (frecuencia de aparición) en cada división en forma de gráfico de barras. Esto hace más fácil entender la media aproximada del grado aproximado de dispersión. A una distribución simétrica en forma de campana se le denomina distribución normal y se utiliza mucho en ejemplos teóricos debido a sus características fácilmente calculables. Sin embargo, se debería tener precaución porque muchos procesos reales no son conformes con la distribución normal y se producirá un error si se asume que son conformes.

■ Capacidad del proceso

Implementación específica del proceso demostrada cuando el proceso está suficientemente estandarizado, se elimina cualquier causa de malfuncionamiento, y el proceso está en un estado de control estadístico. La capacidad del proceso se representa por la media $\pm 3s$ ó $6s$; cuando la salida característica de calidad muestra una distribución normal. s (sigma) indica desviación estándar.

■ Índice de capacidad del proceso (PCI o Cp)

Una medida de lo bien que puede funcionar el proceso dentro de los límites de tolerancia de la característica objetivo. Debería ser siempre considerablemente mayor de uno. El valor índice se calcula dividiendo la tolerancia de una característica objetivo por la capacidad del proceso ($6s$). El valor calculado dividiendo la diferencia entre la (\bar{X}) media y el valor estándar por $3s$ se puede utilizar para representar este índice en casos de una tolerancia unilateral. El índice de capacidad del proceso asume que una característica sigue la distribución normal.

Notas: Si una característica sigue la distribución normal, el 99.74% de los datos está dentro del rango $\pm 3s$ de la media.

Tolerancia bilateral

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6s}$$

USL: Límite de especificación superior
LSL: Límite de especificación inferior

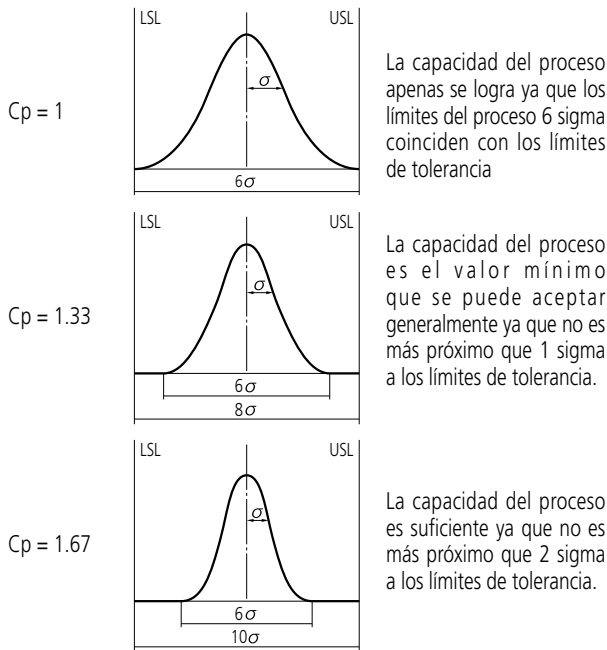
Tolerancia unilateral ... Si se estipula solamente el límite superior

$$C_p = \frac{USL - \bar{X}}{3s}$$

Tolerancia unilateral ... Si se estipula solamente el límite inferior

$$C_p = \frac{\bar{X} - LSL}{3s}$$

Ejemplos específicos de un índice de capacidad de proceso (Cp) (tolerancia bilateral)

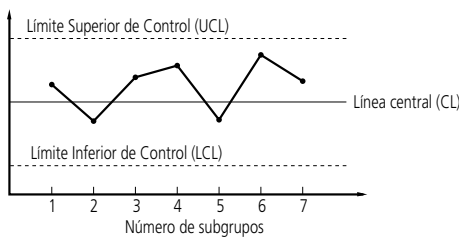


Se debe tener en cuenta que Cp representa solamente la relación entre los límites de tolerancia y la dispersión del proceso y no considera la posición de la media del proceso.

Notas: A un índice de capacidad del proceso que toma en consideración la diferencia entre la media del proceso de la media del proceso objetivo se le denomina generalmente Cpk; que es la tolerancia superior (USL menos la media) dividido por 3s (mitad de la capacidad del proceso) o la tolerancia inferior (el valor medio menos LSL) dividido por 3s, cualquiera de ellos, el que sea más pequeño.

Gráfico de control

Utilizado para controlar el proceso separando la variación del proceso de las causas de variabilidad aleatorias y de un fallo en el funcionamiento. El gráfico de control consiste en una línea central (CL) y las líneas límites de control determinadas racionalmente por encima y debajo de ella (UCL y LCL). Se puede decir que el proceso está en un estado de control estadístico si todos los puntos están dentro de las líneas límites de control superior e inferior sin tendencias notables cuando se trazan los valores de la característica que representan la salida del proceso. El gráfico de control es una herramienta útil para controlar la salida de proceso y por lo tanto, la calidad.



Causas de variabilidad aleatorias

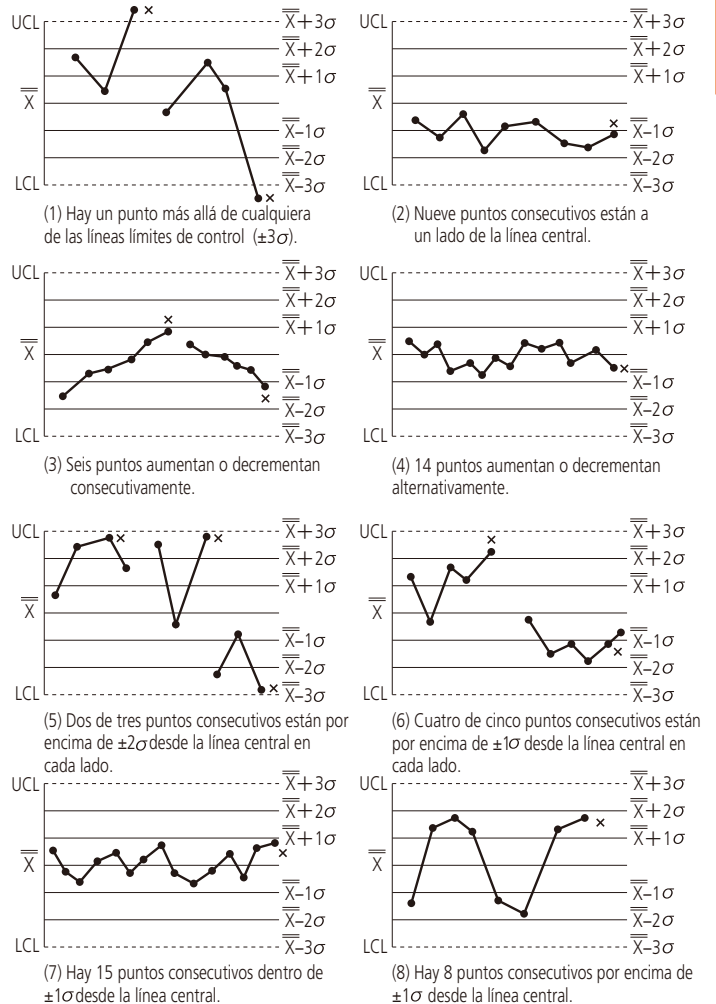
Estas causas de variación son de relativamente poca importancia. Las causas de variabilidad aleatorias son imposibles de eliminar tecnológicamente y económicamente incluso aunque puedan identificarse.

Gráfico de control X-R

Un gráfico de control utilizado para el control del proceso que proporciona la mayor información sobre el mismo. El gráfico de control \bar{X} -R consiste en el gráfico de control \bar{X} que utiliza la media de cada subgrupo para supervisar el sesgo anormal de la media del proceso y el gráfico de control R que utiliza el rango para supervisar la variación anormal. Normalmente, ambos gráficos se utilizan juntos.

Cómo leer el gráfico de control

Las tendencias típicas de posición de puntos sucesivos en el gráfico de control que se consideran indeseables se muestran debajo. Estas tendencias se toman para indicar que una 'causa especial' está afectando a la salida del proceso y que se requiere la acción del operador del proceso para solucionar la situación. Estas reglas de determinación proporcionan sólo una directriz. Tenga en consideración la variación específica del proceso cuando se hagan las reglas de determinación. Asumiendo que los límites de control superior e inferior están 3s lejos de la línea central, divida el gráfico de control en seis zonas a intervalos de 1s para aplicar las siguientes reglas: Estas reglas son aplicables al gráfico de control X y al \bar{X} . Tener en cuenta que estas 'reglas de tendencia para acción' se formularon asumiendo una distribución normal. Las reglas se pueden formular para adaptar a cualquier otra distribución.



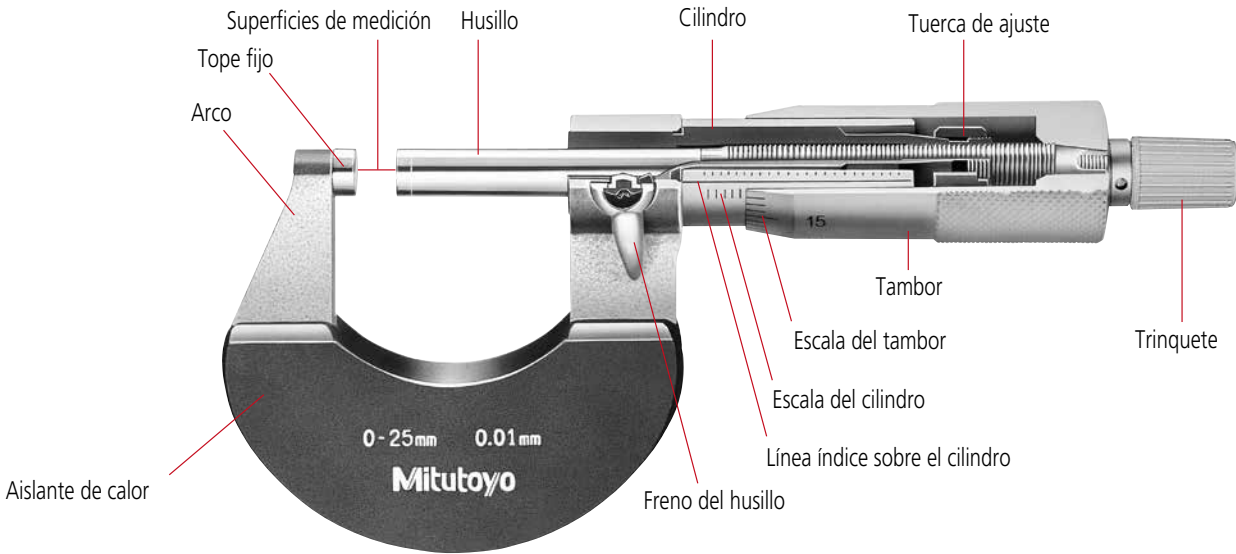


Micrómetros

Nomenclatura

Micrómetro Analógico Estándar para Exteriores

6

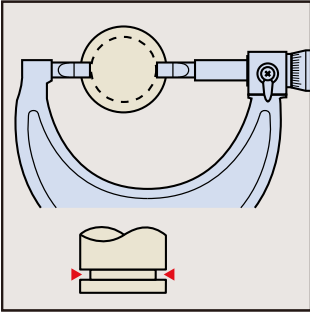


Micrómetro Digimatic de Exteriores



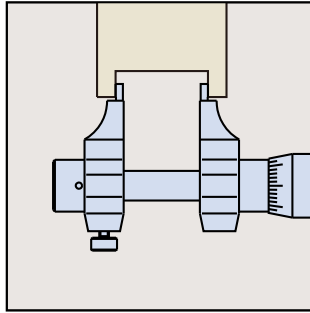
■ Aplicaciones de Micrómetros para Propósitos Especiales

Micrómetro de cuchillas



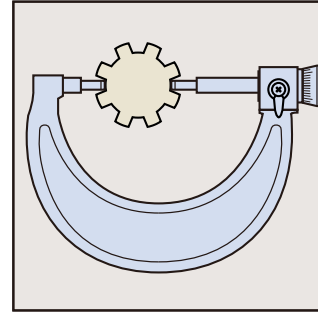
Para medición del diámetro interior de ranura estrecha

Micrómetro de interiores tipo calibre



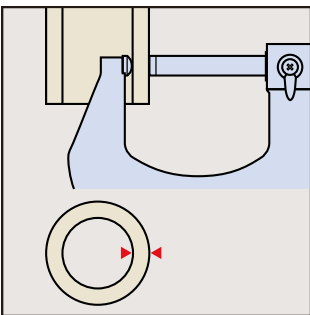
Para medición de diámetro interior pequeño y anchura de la ranura

Micrómetro para ranuras



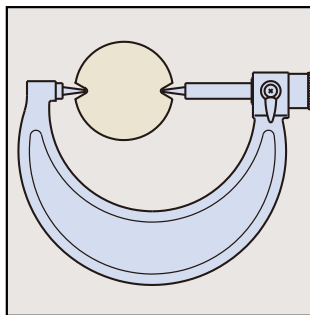
Para medición del diámetro de ejes nervados

Micrómetro para tubos



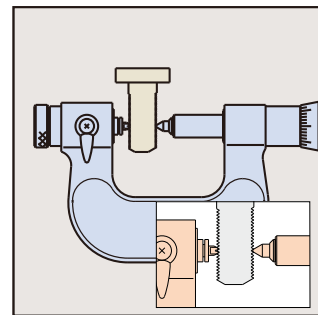
Para medición del espesor de paredes tubulares

Micrómetro de puntas



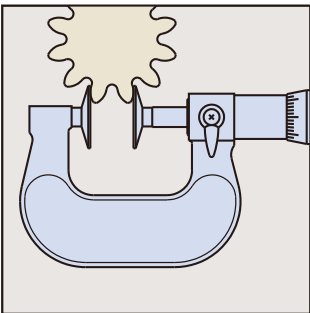
Para medición del diámetro de la raíz

Micrómetro para flanco de rosca de tornillos



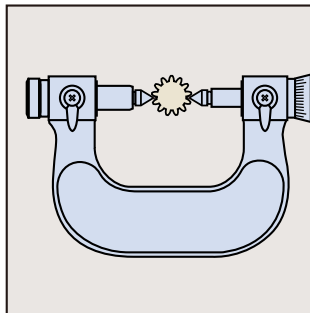
Para medir el diámetro de paso de la rosca

Micrómetro de exteriores tipo de disco



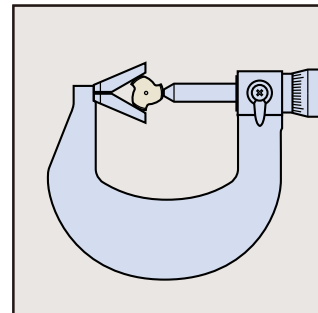
Para medición de la tangente de la raíz en engranes de dientes rectos y engranes de dientes helicoidales.

Micrómetro de bolas para espesor de dientes



Medición del diámetro sobre esferas del engrane

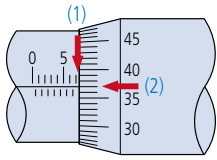
Micrómetro de tope en forma de V



Para medición de herramientas de corte de 3 ó 5 puntas de corte

■ Cómo Leer la Escala

Micrómetro con escala estándar (graduación: 0.01 mm)



- (1) Lectura escala del cilindro 7.00mm
 (2) Lectura escala del tambor + 0.37mm
 Lectura del micrómetro 7.37mm

Nota) 0.37 mm (2) se lee en la posición donde la línea índice sobre el cilindro está alineada con las graduaciones del tambor.

La escala del tambor se puede leer directamente a 0.01mm, como se muestra arriba, pero se puede estimar también en 0.001mm cuando las líneas son casi coincidentes porque el espesor de las líneas es 1/5 del espacio entre ellas.



Aprox. +1µm

Línea índice Escala del tambor

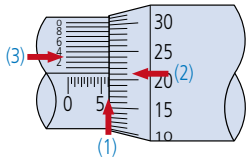


Aprox. +2µm

Línea índice Escala del tambor

Micrómetro con escala vernier (graduación: 0.001 mm)

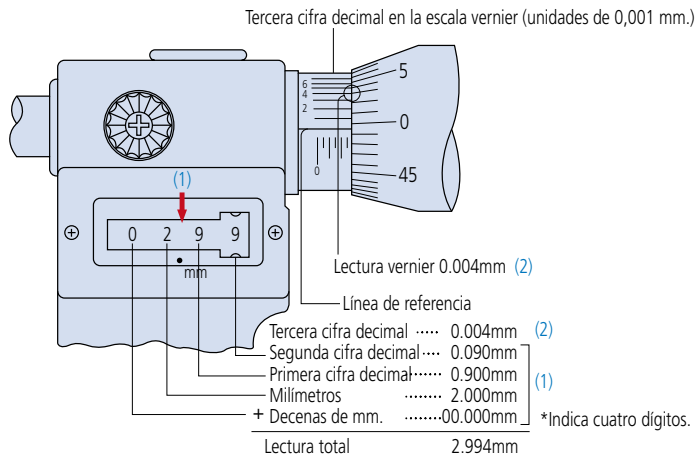
La escala vernier provista encima de la línea índice del cilindro permite que se hagan lecturas directas dentro de 0.001mm.



- (1) Lectura escala del cilindro 6.000mm
 (2) Lectura escala del tambor 0.210mm
 (3) Lectura desde el marcado de la escala vernier y línea de graduación del tambor + 0.003mm
 Lectura del micrómetro 6.213mm

Nota) 0.21 mm (2) se lee en la posición donde la línea índice está entre dos graduaciones (21 y 22 en este caso). 0.003 mm (3) se lee en la posición donde una de las graduaciones vernier se alinea con una de las graduaciones del tambor.

Micrómetro con pantalla de dígitos mecánicos (paso digital: 0.001mm)

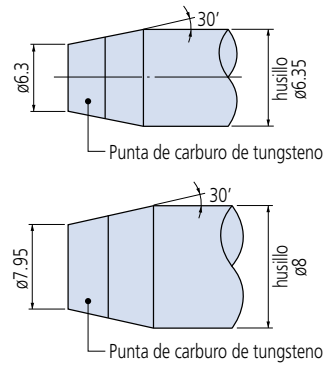


Nota) 0.004 mm (2) se lee en la posición donde una línea de graduación vernier corresponde con una de las líneas de graduación del tambor.

■ Dispositivo Limitador de Fuerza de Medición

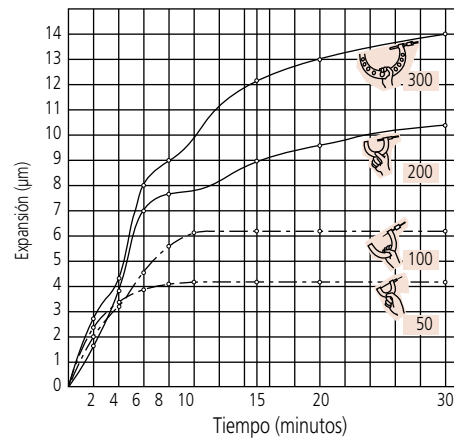
	Audible en operación	Operación con una mano	Observaciones
Tope de trinquete	Sí	No adecuado	La operación haciendo clic audible causa microscudidas
Tambor de fricción (Tipo F)	No	Adecuado	Operación suave sin sacudida ni sonido
Tambor de trinquete (Tipo T)	Sí	No adecuado	La operación audible proporciona confirmación de fuerza de medición constante
Tambor de trinquete	Sí	Adecuado	La operación audible proporciona confirmación de fuerza de medición constante

■ Detalle de la Superficie de Medición



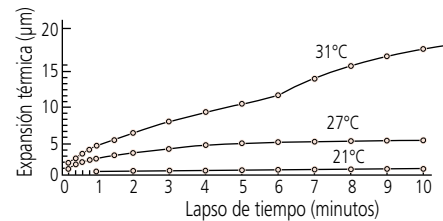
Estos dibujos son solamente para ilustración y no son a escala

■ Expansión del Arco del Micrómetro debido a la Sujeción con la Mano Desnuda



El gráfico de arriba muestra la expansión del arco del micrómetro debido a la transferencia de calor desde la mano al cuerpo del micrómetro cuando éste se sujeta en la mano desnuda lo que, como se puede ver, da como resultado un error de medición considerable debido a la expansión inducida por la temperatura. Si se tiene que sujetar el micrómetro a mano durante la medición, intente minimizar el tiempo de contacto. El aislante del calor reducirá este efecto considerablemente si se coloca o usa guantes. (Tenga en cuenta que el gráfico de arriba muestra los efectos típicos y no se garantiza).

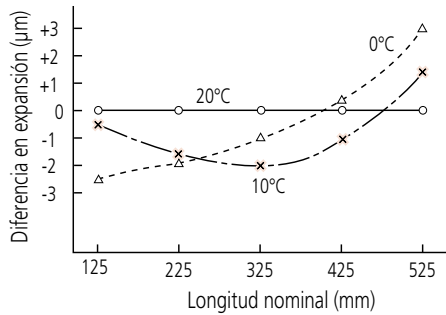
■ Expansión de Longitud de Patrones por Cambio de Temperatura (para barra de 200 mm. inicialmente a 20°C)



El gráfico experimental de arriba muestra un patrón de micrómetro expandido en el tiempo ya que personas cuyas temperaturas eran diferentes (como se muestra) sujetaron el extremo del mismo a una temperatura ambiente de 20°C. Este gráfico muestra que es importante no ajustar el micrómetro mientras se sujeta directamente el patrón del micrómetro sino hacer ajustes solamente cuando se lleven puestos guantes o si se soporta el patrón de longitud por sus aislantes de calor.

Cuando se realice una medición, tenga en cuenta que lleva tiempo hasta que el patrón de micrómetro expandido vuelva a su longitud original. (Tenga en cuenta que los valores del gráfico no son valores garantizados sino valores experimentales.)

Diferencia en la Expansión Térmica entre el Micrómetro y el Patrón de Longitud



En el experimento de arriba, una vez que el micrómetro y su patrón se dejaron a una temperatura ambiente de 20°C durante aproximadamente 24 horas para estabilizar la temperatura, el punto de inicio se ajustó usando el patrón del micrómetro. Entonces, el micrómetro con su patrón se dejaron a temperaturas de 0° C y 10° C durante más o menos el mismo período de tiempo, y se probó el desplazamiento del punto de inicio. El gráfico de arriba muestra los resultados para cada uno de los tamaños desde 125 a 525 mm en cada temperatura. Este gráfico muestra que tanto el micrómetro como su patrón se deben dejar en el mismo sitio durante al menos varias horas antes de ajustar el punto de inicio. (Tenga en cuenta que los valores del gráfico no son valores garantizados sino experimentales.)

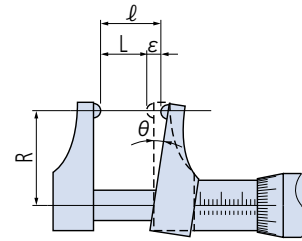
Efecto del Método de Soporte y del Cambio en la Orientación (Unidad: μm)

Cambiar el método de soporte y/o la orientación de un micrómetro tras la puesta a cero afecta a los resultados de medición posteriores. Las tablas de abajo destacan los errores de medición que se esperan en tres casos después de que a los micrómetros se les ponga a cero estando "Soportado" en la parte inferior y el centro'. Estos resultados reales muestran que es mejor fijar y medir utilizando la misma orientación y el mismo método de soporte.

Método de soporte	Soportado en la parte inferior y el centro	Soportado solamente en el centro
Disposición		
Longitud máxima de medición (mm)		
325	0	-5.5
425	0	-2.5
525	0	-5.5
625	0	-11.0
725	0	-9.5
825	0	-18.0
925	0	-22.5
1025	0	-26.0

Método de soporte	Soportado en el centro en una orientación lateral.	Soportado a mano hacia abajo.
Disposición		
Longitud máxima de medición (mm)		
325	+1.5	-4.5
425	+2.0	-10.5
525	-4.5	-10.0
625	0	-5.5
725	-9.5	-19.0
825	-5.0	-35.0
925	-14.0	-27.0
1025	-5.0	-40.0

Principio de Abbe



El principio de Abbe expone que "la exactitud máxima se obtiene cuando la escala y los ejes de medición son comunes".

Esto se debe a que cualquier variación en el ángulo relativo (θ) de la mordaza de medición móvil en un aparato, tal como un micrómetro de puntas de calibre, causa un desplazamiento que no se mide en la escala del aparato y esto es un error Abbe ($\epsilon = l - L$ en el esquema). El error en la rectitud del husillo, la holgura en la guía del husillo o la variación de la fuerza de medición pueden causar todas que (θ) varíe y el error aumenta con R.

Ley de Hooke

La ley de Hooke expone que la deformación en un material elástico es proporcional al esfuerzo que causa esa deformación, siempre que la deformación permanezca dentro del límite elástico para ese material.

Fórmulas de Hertz

Las fórmulas de Hertz dan la reducción aparente del diámetro de las esferas y cilindros debido a la compresión elástica cuando se mide entre superficies planas. Estas fórmulas son útiles para determinar la deformación de una pieza causada por la fuerza de la medición en las situaciones de contacto de punto y línea.

(a) Esfera entre dos planos

(b) Cilindro entre dos planos

Asumiendo que el material es acero y las unidades son como sigue:
 Módulo de elasticidad: $E = 205 \text{ GPa}$
 Cantidad de deformación: $\delta (\mu\text{m})$
 Diámetro de esfera o cilindro: $D (\text{mm})$
 Longitud del cilindro: $L (\text{mm})$
 Fuerza de medición: $P (\text{N})$

a) Reducción aparente del diámetro de la esfera
 $\delta_1 = 0.82 \sqrt[3]{P^2/D}$

b) Reducción aparente del diámetro del cilindro
 $\delta_2 = 0.094 \cdot P/L \sqrt[3]{1/D}$

Principales errores de medición del tornillo Micrómetro

Causa de error	Error máximo permitido	Precauciones para eliminar errores	Error que podría no eliminarse incluso con precauciones
Error de alimentación del micrómetro	3 μm	1. Corrija el micrómetro antes de usar.	±1 μm
Error de ángulo del tope fijo	± 5 μm asumiendo que el error de medio ángulo es de 15 minutos	1. Mida el error de ángulo y corrija el micrómetro. 2. Ajuste el micrómetro usando el mismo calibre de hilo que la pieza de trabajo.	± 3 μm de error de medición esperado de la mitad del ángulo
Desalineado de puntos de contacto	+10 μm		+3 μm
Influencia de la fuerza de medición	±10 μm	1. Utilice un micrómetro con una fuerza de medición baja si es posible. 2. Utilice siempre el tope de trinquete. 3. Ajuste el micrómetro con un calibre de hilo con el mismo paso.	+3 μm
Error de ángulo del calibre de rosca	±10 μm	1. Realice el cálculo de corrección (ángulo). 2. Corrija el error de longitud. 3. Ajuste el micrómetro usando el mismo calibre de hilo que la pieza de trabajo.	+3 μm
Error de longitud del calibre de rosca	$\pm \left(3 + \frac{L}{25} \right) \mu\text{m}$	1. Realice el cálculo de corrección. 2. Ajuste el micrómetro usando el mismo calibre de hilo que la pieza de trabajo.	±1 μm
Error de ángulo de rosca de la pieza de trabajo	Error de grado JIS 2 de medio ángulo ± 229 minutos -91 μm +71 μm	1. Minimice el error de ángulo tanto como sea posible. 2. Mida el error de ángulo y realice el cálculo de corrección. 3. Utilice el método de tres cables para un error de ángulo grande.	± 8 μm asumiendo que el error de la mitad del ángulo es ± 23 minutos
Error acumulativo	(±117+40) μm		+26 μm -12 μm

Medición del diámetro de paso del tornillo

Método de tres alambres

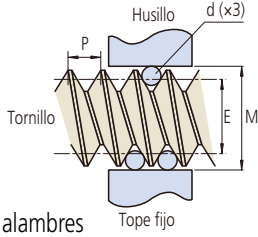
El diámetro del paso del tornillo se puede medir con el método de tres alambres tal como se muestra en la figura. Calcule el diámetro del paso (E) con las ecuaciones (1) y (2).

Rosca métrica o tornillo unificado (60°)

$$E = M - 3d + 0.866025P \dots\dots(1)$$

Rosca Whitworth (55°)

$$E = M - 3 \cdot 1.16568d + 0.960491P \dots\dots(2)$$



- d = Diámetro del alambre
- E = Diámetro del paso del tornillo
- M = Lectura del micrómetro incluyendo tres alambres
- P = Paso del tornillo
- (Convertir pulgadas a milímetros para tornillos unificados.)

Tipo de rosca	Tamaño óptimo del alambre en D
Rosca métrica o tornillo unificado (60°)	0.577P
Rosca Whitworth (55°)	0.564P

Errores de medición importantes del método 3 alambres

Causa del error	Precauciones para eliminar los errores	Error posible	Error que pueda no ser eliminado incluso con precauciones
Error de paso (pieza de trabajo)	1. Corregir el error de paso ($\delta p = \delta E$) 2. Medir varios puntos y adoptar su media. 3. Reducir los errores de paso individuales.	$\pm 18 \mu m$ asumiendo que el error de paso es 0.02 mm.	$\pm 3 \mu m$
Error de semi-ángulo (pieza de trabajo)	1. Usar el diámetro de alambre óptimo. 2. No se necesita ninguna corrección.	$\pm 0.3 \mu m$	$\pm 0.3 \mu m$
Debido a la diferencia del tope	1. Usar el diámetro de alambre óptimo. 2. Usar el alambre que tenga un diámetro próximo a la media en un lado del alambre.	$\pm 8 \mu m$	$\pm 1 \mu m$
Error del diámetro del alambre	1. Usar la fuerza de medición prefijada apropiada para el paso. 2. Usar la anchura predeterminada del borde de medición. 3. Usar una fuerza de medición estable.	$-3 \mu m$	$-1 \mu m$
Error sistemático		En el peor caso $+20 \mu m$ $-35 \mu m$	Cuando se mide cuidadosamente $+3 \mu m$ $-5 \mu m$

Método de un alambre

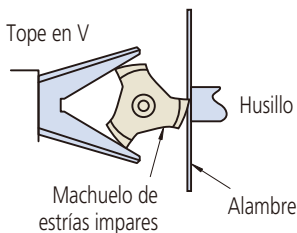
El diámetro de paso del machuelo de estrías impares se puede medir utilizando el micrómetro de tope en V con el método de un alambre. Obtener el valor medido (M_1) y calcular M con la ecuación (3) ó (4).

- M_1 = Lectura del micrómetro durante la medición de un alambre
- D = Diámetro del machuelo de estrías impares

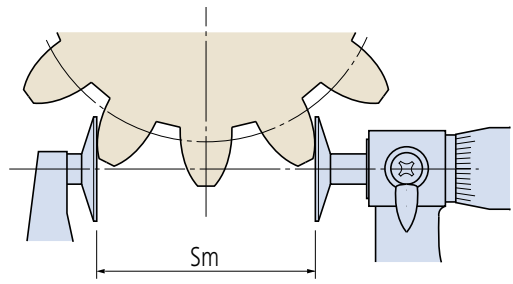
Machuelo con 3 estrías: $M = 3M_1 - 2D \dots\dots(3)$

Machuelo con 5 estrías: $M = 2.2360M_1 - 1.2360D \dots\dots(4)$

A continuación, asignar la M calculada a la ecuación (1) ó (2) para calcular el diámetro del paso (E).



Longitud de la tangente de la raíz



Fórmula para calcular una longitud de la tangente de la raíz (S_m):

$$S_m = m \cos \alpha_0 \{ \pi (Z_m - 0.5) + Z_m \operatorname{inv} \alpha_0 \} + 2X_m \sin \alpha_0$$

Fórmula para calcular el número de dientes dentro de la longitud de la tangente de la raíz (Z_m):

$$Z_m' = Z \cdot K(f) + 0.5 \quad (Z_m \text{ es el número entero máx. próximo a } Z_m')$$

donde, $K(f) = \frac{1}{\pi} \{ \sec \alpha_0 \sqrt{(1 + 2f)^2 - \cos^2 \alpha_0} - \operatorname{inv} \alpha_0 - 2f \tan \alpha_0 \}$

y, $f = \frac{X}{Z}$

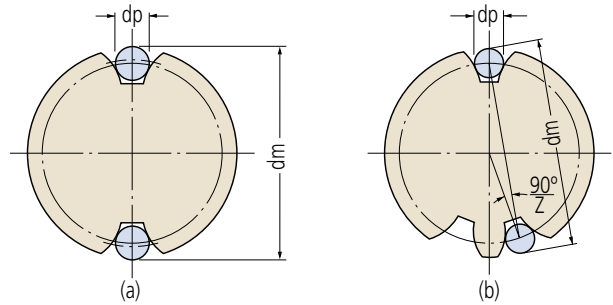
- m : Módulo
- α_0 : Ángulo de presión

$\operatorname{inv} 20^\circ \doteq 0.014904$
$\operatorname{inv} 14.5^\circ \doteq 0.0055448$

- Z : Número de dientes
- X : Coeficiente modificación del saliente
- S_m : Longitud de la tangente de la raíz
- Z_m : Número de dientes dentro de la longitud de la tangente de la raíz

Medición de engrane

Método con pasadores especiales



Para un engranaje con un número de dientes par:

$$dm = dp + \frac{dg}{\cos \theta} = dp + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta}$$

Para un engranaje con un número de dientes impar:

$$dm = dp + \frac{dg}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{z} \right) = dp + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{z} \right)$$

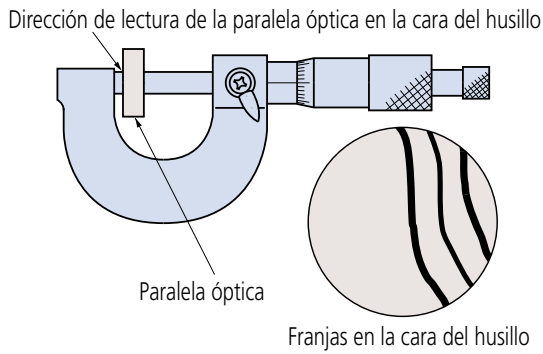
sin embargo,

$$\operatorname{inv} \theta = \frac{dp}{dg} - \frac{X}{z} = \frac{dp}{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0} - \left(\frac{\pi}{2z} - \operatorname{inv} \alpha_0 \right) + \frac{2 \tan \alpha_0}{z} \cdot X$$

Obtener θ ($\operatorname{inv} \theta$) de la tabla de funciones de envolvente

- z : Número de dientes
- α_0 : Ángulo de presión de dientes
- m : Módulo
- X : Coeficiente de modificación del saliente

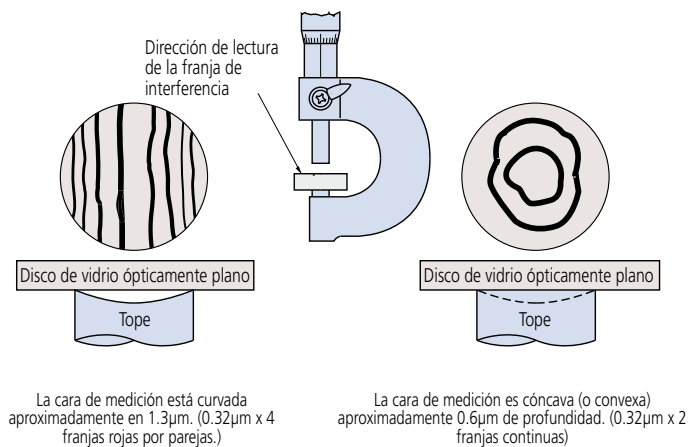
■ Probar el Paralelismo de las Superficies de Medición del Micrómetro



El paralelismo se puede estimar utilizando una paralela óptica sujeta entre las caras. En primer lugar, colocar la paralela a la cara de medición del tope fijo. A continuación, cerrar el husillo en la paralela utilizando una fuerza de medición normal y contar el número de franjas de interferencia roja vistas en la cara de medición del husillo en luz blanca. Cada franja representa una diferencia de semi-longitud de onda en altura ($0.32\mu\text{m}$ para franjas rojas). En la figura de arriba se obtiene un paralelismo de aproximadamente $1\mu\text{m}$ de $0.32\mu\text{m} \times 3 = 0.96\mu\text{m}$.

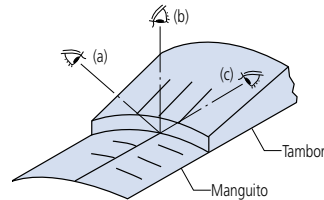
■ Probar la Planitud de las Caras de Medición del Micrómetro

La planitud se puede estimar utilizando un disco de vidrio ópticamente plano (o paralela óptica) sujeto contra una cara. Contar el número de franjas de interferencias rojas vistas en la cara de medición en luz blanca. Cada franja representa una diferencia de semi-longitud de onda en altura ($0.32\mu\text{m}$ para franjas rojas).



■ Notas generales sobre la utilización del micrómetro

1. Compruebe cuidadosamente el tipo, el intervalo de medición, el error y otras especificaciones para seleccionar el modelo apropiado para su aplicación.
2. Deje el micrómetro y la pieza de trabajo a temperatura ambiente el tiempo suficiente para que sus temperaturas se igualen antes de realizar una medición.
3. Mire directamente a la línea índice sobre el cilindro tomando una lectura contra las graduaciones del tambor. Si las líneas de graduación se ven desde un ángulo, la posición de alineamiento correcto de las líneas no se puede leer debido al error de paralaje.



(a) Desde encima de la línea índice



(b) Mirando directamente a la línea índice

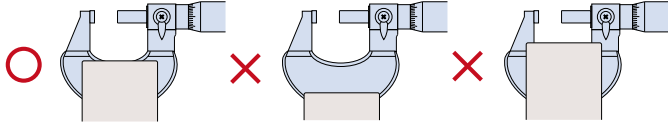


(c) Desde debajo de la línea índice

4. Limpie con un trapo o papel que no suelte pelusa las caras de medición tanto del tope fijo como del husillo. Siempre fije el punto de inicio (cero) antes de medir.



- Limpie el husillo para que no quede nada de polvo, virutas u otros restos y verifique la cara del husillo como parte del mantenimiento diario. Además, limpie con un trapo seco cualquier mancha y huellas dactilares en cada parte.
- Utilice correctamente el dispositivo de fuerza constante de tal forma que las mediciones se realicen con la fuerza de medición correcta.
- Cuando fije el micrómetro sobre un soporte de micrómetro, el soporte debería sujetar el centro del cuerpo o marco del micrómetro. No lo sujete demasiado fuerte.



- Tenga cuidado de no dejar caer ni golpear el micrómetro en ningún sitio. No gire el tambor del micrómetro utilizando fuerza excesiva. Si cree que el micrómetro puede haber sido dañado debido a una falsa maniobra accidental, asegúrese de que se inspecciona su precisión antes de utilizarlo.
- Tras un período largo de almacenamiento o cuando no haya una película de aceite de protección visible, aplique ligeramente el aceite anticorrosión al micrómetro pasando un paño empapado en el mismo.
- Notas sobre el almacenamiento:
 - Evite almacenar el micrómetro a la luz directa del sol.
 - Almacene el micrómetro en un lugar ventilado con humedad baja.
 - Almacene el micrómetro en un lugar con poco polvo.
 - Almacene el micrómetro en su estuche u otro contenedor que no se debería mantener sobre el suelo.
 - Cuando almacene el micrómetro, deje siempre una separación de 0,1 a 1 mm. entre las caras de medición.
 - No almacene el micrómetro con el freno puesto.

Método de evaluación del rendimiento del micrómetro

JIS B 7502 se revisó y emitió en 2016 como los Estándares Industriales Japoneses del micrómetro, y el "Error instrumental" que indica el error de indicación del micrómetro se ha cambiado a "Error máximo permitido (MPE) de indicación".

El "error instrumental" del antiguo JIS adopta el criterio de aceptación de que el rango de especificación (especificación de precisión) es igual al rango de aceptación, y el juicio OK / NG no incluye la incertidumbre de la medición (Fig.1).

El "Error Máximo Permisible (MPE) de indicación" del nuevo JIS emplea el concepto básico del juicio OK / NG teniendo en cuenta la incertidumbre adoptada en la norma ISO (ISO 14253-1).

La verificación de conformidad y no conformidad con las especificaciones está claramente estipulada para utilizar los criterios de aceptación reconocidos internacionalmente (aceptación simple) cuando el rango de especificación es igual al rango de aceptación, y se acepta que el rango de especificación es igual al rango de aceptación si una condición dada considerando la incertidumbre se cumple.

El criterio de aceptación reconocido internacionalmente anteriormente mencionado es ISO / TR14253-6: 2012 (Fig.2).

A continuación se describe el método de inspección estándar, incluido el contenido revisado de JIS 2016.

Fig. 1 JIS Convencional Error Instrumental
JIS B 7502-1994

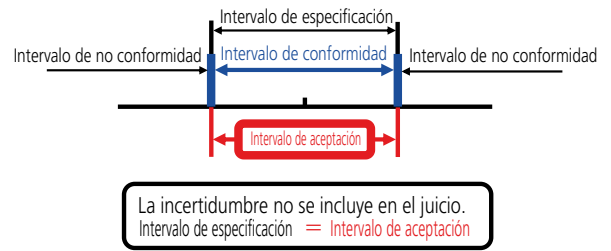
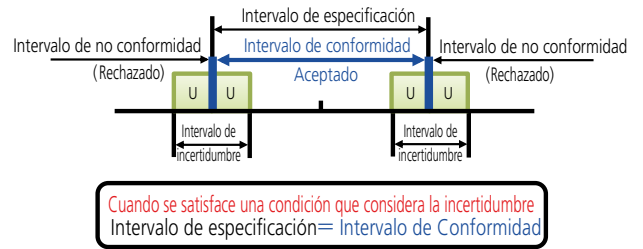


Fig. 2 Nueva JIS Error Máximo Permisible (MPE)
JIS B 7502: 2016 (ISO/TR 14253-6: 2012)



Error máximo permitido de error de contacto de superficie completa J_{MPE} [JIS B 7502: 2016]

El error de contacto de la superficie total del micrómetro exterior es un error de indicación medido al poner en contacto toda la superficie de medición con el objeto a medir en un punto arbitrario en el rango de medición.

El valor puede obtenerse ajustando el punto de referencia utilizando un dispositivo de presión constante con la longitud de medición mínima del micrómetro, insertando un bloque calibrador de grado 0 o 1 prescrito en JIS B 7506 o un calibre equivalente o superior entre las superficies de medición (Fig. 3), y luego restar las dimensiones del bloque de calibre del valor de indicación del micrómetro usando un dispositivo de presión constante.

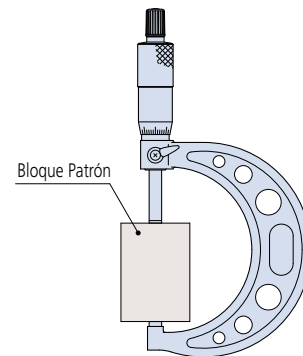


Fig. 3: Medición del error de contacto de superficie total



Cabezas Micrométricas

Factores Clave en la Selección

Los factores clave al seleccionar una cabeza micrométrica son el rango de medición, la cara del husillo, el vástago, las graduaciones, el diámetro del tambor.

Vástago

Vástago liso

Vástago con tuerca de fijación



- El vástago utilizado para montar un cabeza de micrométrica se clasifica como "tipo liso" o "tipo de tuerca de fijación" tal como se ilustra arriba. El diámetro del vástago se fabrica en sistema inglés o métrico con una tolerancia h6.
- El vástago con la tuerca de fijación permite una fijación rápida y segura de la cabeza micrométrica. El vástago liso tiene la ventaja de una aplicación más amplia y una ligera regulación posicional en la dirección axial en la instalación final, aunque requiere una brida ajustable o adhesivo de fijación.
- Hay dispositivos de sujeción de montaje para todo uso disponibles como accesorios opcionales.

Superficie de Medición



Superficie lisa

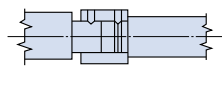
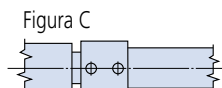
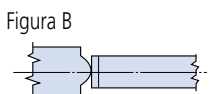
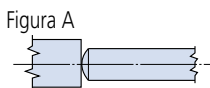


Superficie esférica



Dispositivo no giratorio

- La cara de medición lisa se especifica a menudo donde se utiliza la cabeza micrométrica en aplicaciones de medición.
- Cuando se utiliza una cabeza micrométrica como dispositivo de avance, la cara esférica puede minimizar los errores debidos a un defecto de alineación (Figura A). Alternativamente, una cara lisa en el husillo puede soportar estar contra una esfera, tal como una bola de carburo (Figura B).
- La cabeza micrométrica del tipo de husillo no giratorio (Figura C) se puede utilizar si se debe evitar una acción de torsión en la pieza de trabajo.
- Si se utiliza una cabeza micrométrica como tope, entonces la cara lisa tanto en el husillo como en la cara en la que hace contacto proporciona durabilidad.



Husillo no giratorio

- La cabeza de tipo de husillo no giratorio no ejerce acción de torsión en la pieza de trabajo, lo que puede ser un factor importante en algunas aplicaciones.

Paso de la Rosca del Husillo

- La cabeza de tipo estándar tiene un paso de 0,5 mm.
- Tipo de paso de 1 mm.: más rápido de fijar que el tipo estándar y evita la posibilidad de un error de lectura de 0,5 mm. Características excelentes de soporte de carga debido a una rosca de tornillo más grande.
- Tipo de paso de 0,25 mm. ó 0,1 mm. Este tipo es el mejor para las aplicaciones de avance fino o posicionamiento fino.

Dispositivo de Fuerza Constante

- Se recomienda una cabeza micrométrica con dispositivo de fuerza constante (tambor de fricción o trinquete) para las aplicaciones de medición.
- Si se utiliza una cabeza micrométrica como tope, o donde el ahorro de espacio es una prioridad, la mejor elección es probablemente una cabeza sin trinquete.



Cabeza micrométrica con dispositivo de fuerza constante



Cabeza micrométrica sin dispositivo de fuerza constante (sin trinquete)

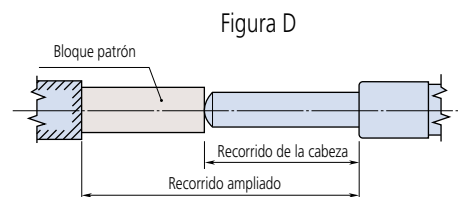
Bloqueo del Husillo

- Si se utiliza una cabeza micrométrica como tope, es deseable utilizar una cabeza con bloqueo del husillo de tal forma que el ajuste no cambiará incluso bajo cargas de choque repetidas.



Intervalo de Medición (Recorrido)

- Cuando escoja un rango de medición para una cabeza micrométrica, permita un margen suficiente en consideración con la carrera de medición esperada. Hay seis rangos de carrera disponibles, de 5 a 50 mm, para las cabezas micrométricas estándar.
- Incluso si un recorrido esperado es pequeño, tal como de 2 mm a 3 mm, será más rentable escoger un modelo de recorrido de 25 mm mientras haya espacio suficiente para la instalación.
- Si se requiere recorrido largo por encima de 50 mm, el uso simultáneo de un bloque patrón de medición puede ampliar el intervalo de medición efectivo. (Figura D)



- En esta guía, el intervalo (o final del recorrido) del tambor se indica por medio de una línea discontinua. Para los finales del recorrido, considere que el tambor se mueve a la posición indicada por la línea cuando diseñe los dispositivos.

Aplicaciones de Avance Ultrafino

- Hay cabezas micrométricas especializadas disponibles para aplicaciones de manipulador, etc., que requieren un avance o regulación ultrafinos del husillo.

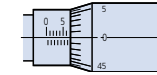
■ Diámetro del Tambor

- El diámetro del tambor afecta considerablemente su utilización y a la "perfección de la finura" del posicionamiento. Un tambor de diámetro pequeño permite un posicionamiento rápido mientras que un tambor de diámetro grande permite un posicionamiento fino y una lectura fácil de las graduaciones. Algunos modelos combinan las ventajas de ambas características montando un tambor (reductor de velocidad) de avance rápido en el tambor de diámetro grande.

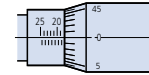


■ Estilo de Graduación

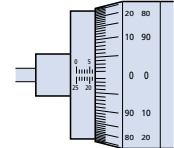
- Se necesita tener cuidado cuando se tome la lectura de una cabeza micrométrica mecánica, especialmente si el usuario no está familiarizado con el modelo.
- El estilo de "graduación normal", idéntico al de un micrómetro para exteriores, es el estándar. Para este estilo, la lectura aumenta según el husillo se repliega dentro del cuerpo.
- Por el contrario, en el estilo "graduación inversa" la lectura aumenta según avanza el husillo fuera del cuerpo.
- El estilo "graduación bidireccional" está diseñado para facilitar la medición en cualquier dirección utilizando números en negro para la operación normal y números en rojo para la operación inversa.
- Las cabezas micrométricas con pantalla digital electrónica o mecánica, que permitan la lectura directa de un valor de medición, también están disponibles. Estos tipos están libres de errores de lectura. Una ventaja adicional es que el tipo de pantalla digital electrónica puede permitir el almacenamiento y procesamiento estadístico de los datos de medición.



Estilo de graduación normal



Estilo de graduación inversa



Estilo de graduación bidireccional

■ Directrices para los Dispositivos de Elaboración Propia

Una cabeza micrométrica se debería montar en un orificio mecanizado con precisión utilizando un método de sujeción que no ejerza una fuerza excesiva en el vástago. Hay tres métodos de montaje comunes tal como se muestra debajo. El método 3 no se recomienda. Adopte los métodos (1) ó (2) donde se pueda.

(Unidad: mm)

Método de montaje	(1) Tuerca de sujeción				(2) Sujeción de brida ajustable				(3) Sujeción con tornillo opresor			
	Puntos a tener en cuenta											
Diámetro del vástago	ø9.5	ø10	ø12	ø18	ø9.5	ø10	ø12	ø18	ø9.5	ø10	ø12	ø18
Orificio de montaje	G7		G7		G7		G7		H5		H5	
Tolerancia de colocación	+0.005 a +0.020		+0.006 a +0.024		+0.005 a +0.020		+0.006 a +0.024		0 a +0.006		0 a +0.008	
Precauciones	Se debe tener cuidado para hacer que la Cara A esté escuadrada con relación al orificio de montaje. Se puede sujetar el vástago sin ningún problema a una perpendicularidad entre 0.16/6.5.				Eliminar las rebabas generadas en la pared del orificio de montaje por la operación de corte con una cizalla circular.				M3x0.5 o M4x0.7 es un tamaño apropiado para el tornillo de fijación. Utilizar un tapón de latón bajo el tornillo de fijación (si el espesor del dispositivo de fijación lo permite) para evitar dañar el vástago.			



■ Capacidad Máxima de Carga en Cabezas Micrométricas

La capacidad máxima de carga de una cabeza micrométrica depende principalmente del método de montaje y de si la carga es estática o dinámica (utilizado como tope, por ejemplo). Por lo tanto, la capacidad máxima de carga de cada modelo no se puede especificar definitivamente. Los límites de carga recomendados por Mitutoyo (a menos de 100.000 revoluciones si se utiliza para medición dentro del rango de precisión) y los resultados de las pruebas de carga estática utilizando una cabeza micrométrica se proporcionan a continuación.

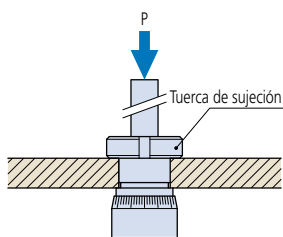
1. Límite máximo de carga recomendado

		Límite máximo de carga
Tipo estándar	(paso del husillo: 0.5 mm.)	Hasta aproximadamente 39,227N / 4kgf *
Tipo de alta funcionalidad	Paso del husillo: 0.1 mm./0.25 mm.	Hasta aproximadamente 19,613N / 2kgf
	Paso del husillo: 0.5 mm.	Hasta aproximadamente 39,227N / 4kgf
	Paso del husillo: 1.0 mm.	Hasta aproximadamente 58,840N / 6kgf
	Husillo antigiratorio	Hasta aproximadamente 19,613N / 2kgf
	Tipo de avance microfino serie 110 (con un mecanismo diferencial)	Hasta aproximadamente 19,613N / 2kgf

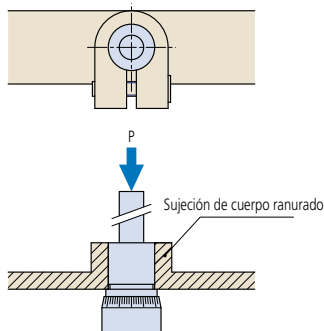
* Hasta aproximadamente **19,613N** / 2kgf solamente para los modelos ultrapequeños

2. Prueba de carga estática para cabezas micrométricas (utilizando MHS para esta prueba)

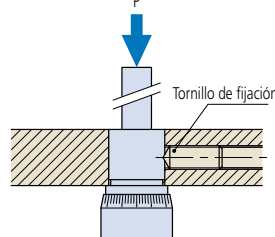
(1) Tuerca de sujeción



(2) Sujeción de cuerpo ranurado



(3) Sujeción con tornillo opresor



Método de prueba

Las cabezas micrométricas se prepararon tal como se muestra y se midió la fuerza a la que el cabezal se dañó o se empujó fuera del dispositivo de fijación cuando se aplicó una carga estática, en la dirección P. (En las pruebas no se tuvo en cuenta el rango de precisión.)

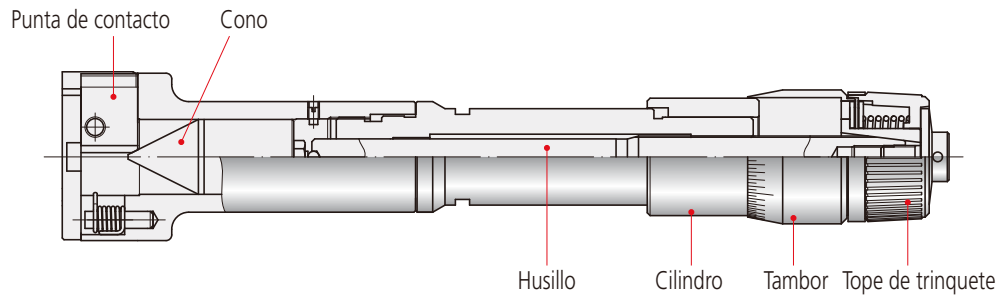
Método de montaje	Carga dañadora / desalojadora*
(1) Tuerca de sujeción	El daño a la unidad principal se producirá de 8.63 a 9.8kN (880 1000kgf).
(2) Sujeción de cuerpo ranurado	La unidad principal se empujará fuera del dispositivo de fijación de 0.69 a 0.98kN (70 a 100kgf).
(3) Sujeción con tornillo opresor	El daño al tornillo de fijación se producirá de 0.69 a 1.08kN (70 a 110kgf).

* Estos valores de cargas se deberían utilizar solamente como guía aproximada.





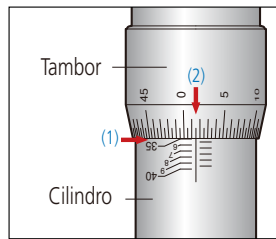
Nomenclatura



Cómo Leer la Escala

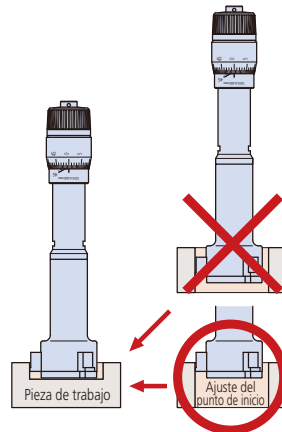
Graduación 0.005mm

(1) Cilindro	35 mm
(2) Tambor	0.015 mm
Lectura	35.015 mm



Cambios en los valores medidos en puntos de medición diferentes

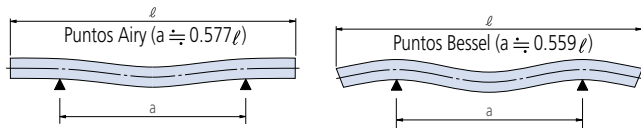
Cuando se utiliza el Holtest, el valor medido difiere entre la medición a través del tope y la medición solamente en la punta del tope debido al mecanismo del producto. Ajuste el punto de inicio en la misma condición que la medición:



Cuando utilice la punta del tope para la medición, ajuste el punto de inicio para utilizar la punta del tope.

Puntos Airy y Bessel

Cuando una barra patrón de longitud o un micrómetro para interiores se coloca horizontalmente, soportados lo más sencillamente posible en dos puntos, se flexionan bajo su propio peso en una forma que depende del espaciado de esos puntos. Hay dos distancias entre los puntos que controlan esta deformación en formas útiles, tal como se muestra debajo.



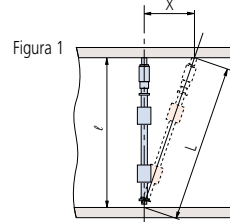
Los extremos de una barra (o micrómetro) se pueden colocar exactamente horizontales espaciando los dos soportes simétricamente tal como se muestra arriba. Estos puntos se conocen como los 'Puntos Airy' y se utilizan comúnmente para asegurar que los extremos de una barra de longitud son paralelos entre sí, de forma tal que la longitud está bien definida.

El cambio en longitud de una barra (o micrómetro) debido a la flexión se puede minimizar espaciando los dos soportes simétricamente tal como se muestra arriba. Estos puntos se conocen como los 'Puntos Bessel' y pueden ser útiles cuando se utilice un micrómetro para interiores largo.

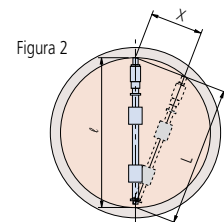
Error de medición debido a la variación de temperatura del micrómetro

La transferencia de calor desde el operario al micrómetro se debería minimizar para evitar cualquier error de medición importante debido a la diferencia de temperatura entre la pieza de trabajo y el micrómetro. Si se sujeta el micrómetro directamente con la mano a la hora de medir, utilizar guantes para sujetar el aislante de calor (en el caso de que lo tenga).

Errores de Desalineación

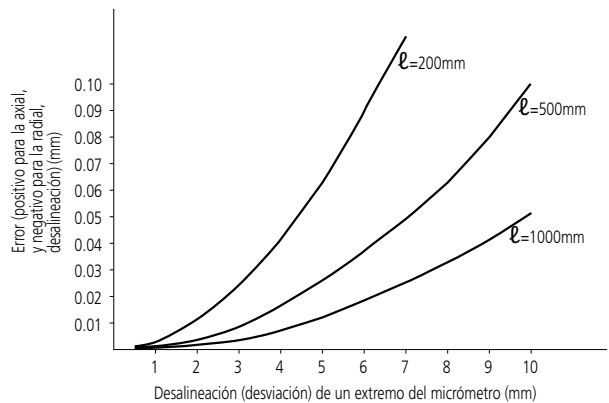


ℓ: Diámetro interior a medir
 L: Longitud medida con desviación axial X
 X: Desviación en la dirección axial
 $\Delta\ell$: Error en la medición
 $\Delta\ell: L-\ell=\sqrt{\ell^2+X^2}-\ell$



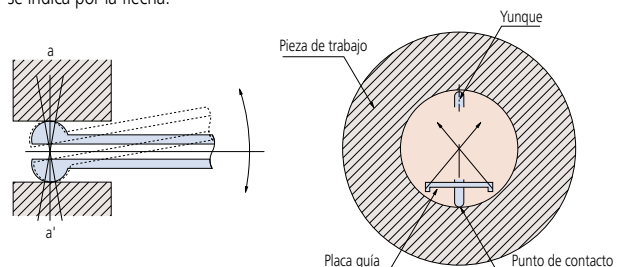
ℓ: Diámetro interior a medir
 L: Longitud medida con desviación radial X
 X: Desviación en la dirección radial
 $\Delta\ell$: Error en la medición
 $\Delta\ell: L-\ell=\sqrt{\ell^2-X^2}-\ell$

Si un micrómetro para interiores está desalineado en la dirección axial o radial en una distancia de desviación X cuando se toma una medición, como en las Figuras 1 y 2, entonces esa medición será errónea tal como se muestra en el gráfico de abajo (construido a partir de la fórmula dada arriba). El error es positivo para la desalineación axial y negativo para la desalineación radial.



Verificadores de Interiores

Los verificadores de interiores de Mitutoyo para orificios pequeños presentan elementos de contacto con una curvatura grande de tal forma que se pueden posicionar fácilmente para medir el diámetro real (en la dirección a-a') de un orificio. El diámetro real es el valor mínimo visto en el reloj comparador mientras se oscila el verificador de interiores tal como se indica por la flecha.



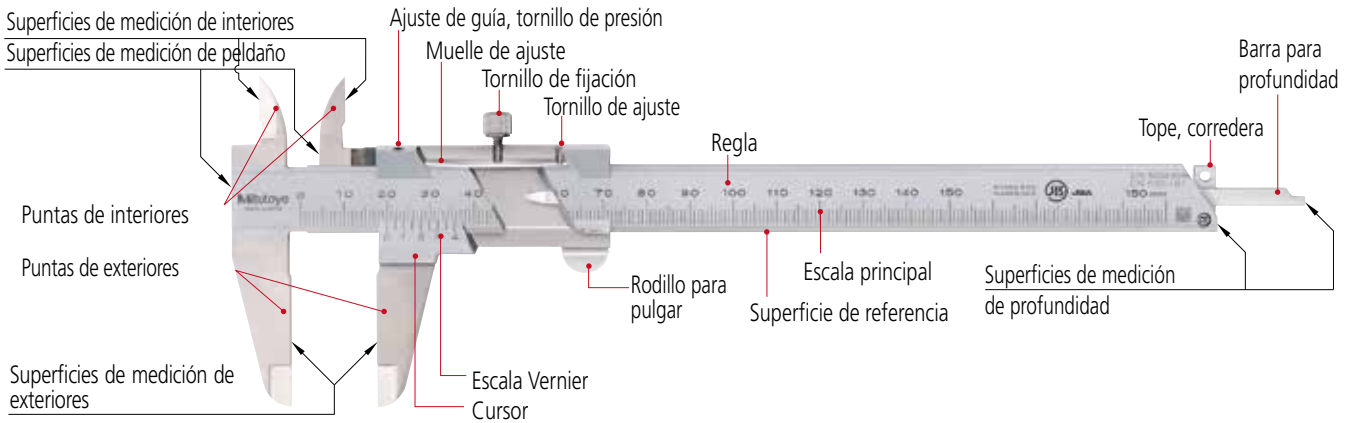
La placa guía accionada por resorte sobre un verificador de interiores de dos puntos de Mitutoyo asegura automáticamente la alineación radial de tal forma que solamente se necesita un movimiento de giro axial para encontrar la lectura mínima (diámetro real).



Calibradores

■ Nomenclatura

Calibrador Vernier



Calibrador Digimatic Absolute



■ Cómo Leer la Escala

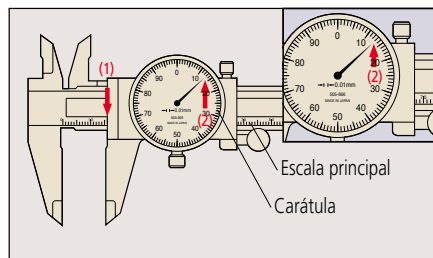
● Calibrador Vernier



Graduación 0.05mm

(1) Lectura de la escala principal	4.00 mm
(2) Lectura de la escala vernier	0.75 mm
Lectura	4.75 mm

● Calibrador de Carátula



Graduación 0.01mm

(1) Lectura de la escala principal	16 mm
(2) Lectura de la carátula	0.13 mm
Lectura	16.13 mm

Nota) Arriba a la izquierda se lee 0.75 mm (2) en la posición donde una línea de graduación de escala corresponde a una línea de graduación de vernier.

■ Ejemplos de medición

1. Medición de exteriores



2. Medición de interiores



3. Medición de paso

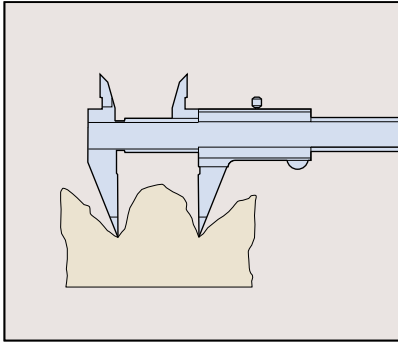


4. Medición de profundidad



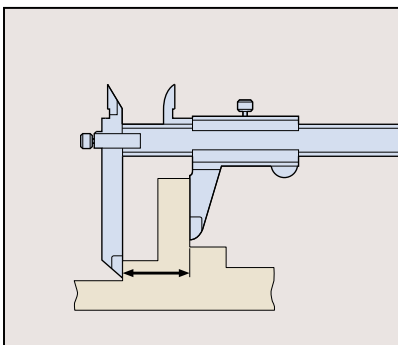
■ Aplicaciones de Calibradores para Propósitos Especiales

Tipo con puntas



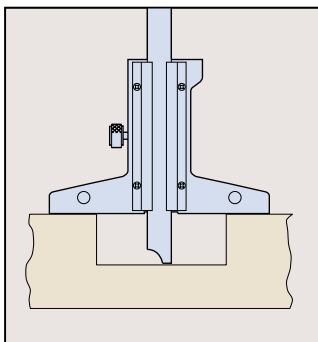
Para medición de superficies irregulares

Tipo de punta ajustable



Para medición de característica escalonada

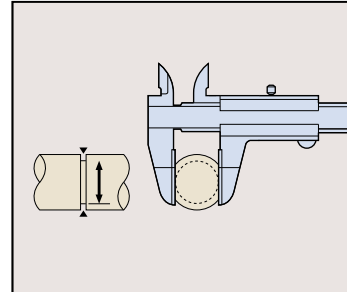
Tipo de profundidad



Para medición de profundidades

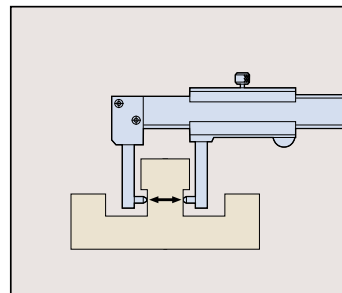
■ Aplicaciones de Calibradores para Propósitos Especiales

Tipo de punta de cuchilla



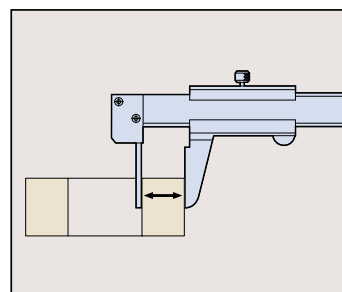
Para medición de diámetros de ranuras estrechas

Tipo de garganta



Para medición de diámetros exteriores tales como espesores de muescas, entalladuras

Tipo de espesores de pared de tubos

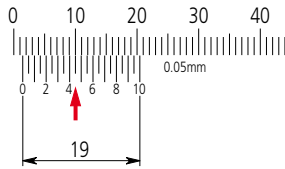


Para medición de espesores de tubos

Tipos de Escala de Vernier

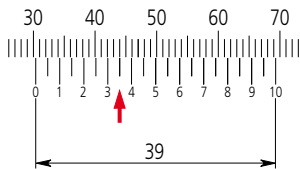
La escala de Vernier está unida al cuerpo del calibrador y cada división en esta escala es de 0.05 mm más corta que una división de la escala principal de 1 mm. Esto significa que, cuando se abren las puntas del calibrador, cada movimiento sucesivo de 0.05 mm hace coincidir la línea de la escala de vernier sucesiva con una línea de la escala principal y, así, indica el número de unidades de 0.05 mm a contar (aunque para conveniencia la escala esté numerada en fracciones de un mm). Alternativamente, una división de vernier se puede hacer 0.05 mm más corta que dos divisiones de la escala principal para hacer una escala de vernier larga. Esto hace que la escala se lea más fácilmente pero el principio y la graduación son todavía las mismas.

● Escala de Vernier estándar (graduación 0.05 mm.)



Lectura 1.45 mm

● Escala de Vernier larga (graduación 0.05 mm.)



Lectura 30.35 mm

Acerca de los Calibradores Largos

Las reglas de acero se utilizan comúnmente para medir aproximadamente piezas de trabajo largas pero si se necesita un poco más de precisión, entonces un calibrador largo es adecuado para el trabajo. Un calibrador largo es muy conveniente para su comodidad pero requiere cuidado en la utilización. En primer lugar es importante darse cuenta de que no hay relación entre la resolución y la exactitud. Para detalles, remítase a los valores en nuestro catálogo. La resolución es constante mientras que la exactitud obtenible varía notablemente de acuerdo a la forma en cómo se utiliza el calibrador.

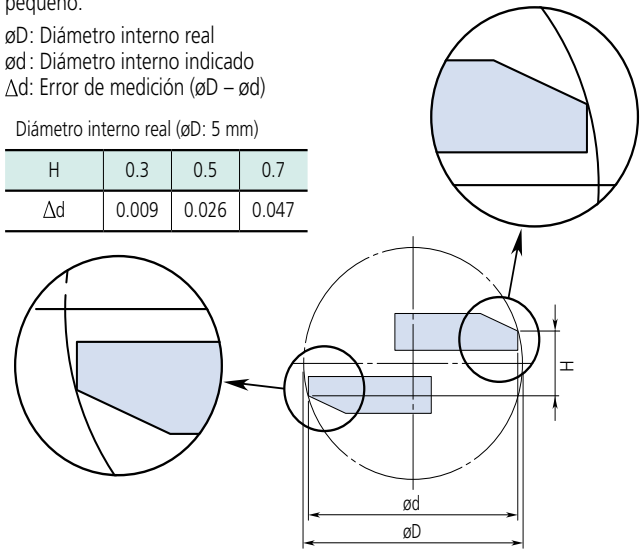
El método de medición con este aparato es una preocupación ya que la distorsión de la regla principal causa una gran cantidad de errores de medición, así que la exactitud variará considerablemente dependiendo del método utilizado para soportar el calibrador en el momento. Además, tenga cuidado de no utilizar una gran fuerza de medición cuando utilice las caras de medición de exteriores ya que están más alejadas de la regla principal y, por lo tanto, aquí habrá el máximo de errores. Esta precaución es necesaria también cuando se utilizan las puntas de las caras de medición de exteriores de un calibrador de puntas largas.

Medición de orificios pequeños con un calibrador estándar

Un error estructural se produce cuando mida el diámetro interior de un orificio pequeño.

$\varnothing D$: Diámetro interno real
 $\varnothing d$: Diámetro interno indicado
 Δd : Error de medición ($\varnothing D - \varnothing d$)

Diámetro interno real ($\varnothing D$: 5 mm)			
H	0.3	0.5	0.7
Δd	0.009	0.026	0.047

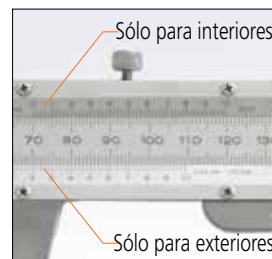
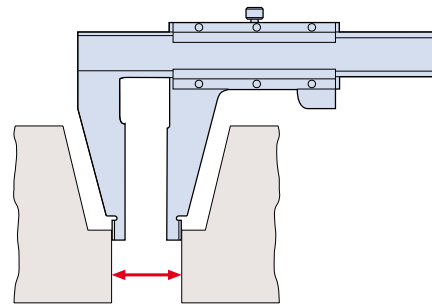


Medición de Interiores con un Calibrador Estilo Nib

Debido a que las caras de medición de interiores del calibrador están en las puntas, el paralelismo de las caras de medición se ve fuertemente afectado por la fuerza de la medición, y esto llega a ser un factor importante en la exactitud de la medición obtenible.

En contraste con un calibrador estándar, un calibrador Estilo Nib no puede medir un diámetro de orificio muy pequeño porque está limitado al tamaño de las puntas escalonadas, aunque normalmente esto no es ninguna inconveniencia ya que sería inusual tener que medir un orificio muy pequeño con este tipo de calibrador. Por supuesto, el radio de la curvatura en las caras de medición de interiores es siempre lo suficientemente pequeño para permitir mediciones correctas de diámetros de orificios justo hasta el límite inferior (cierre de las puntas).

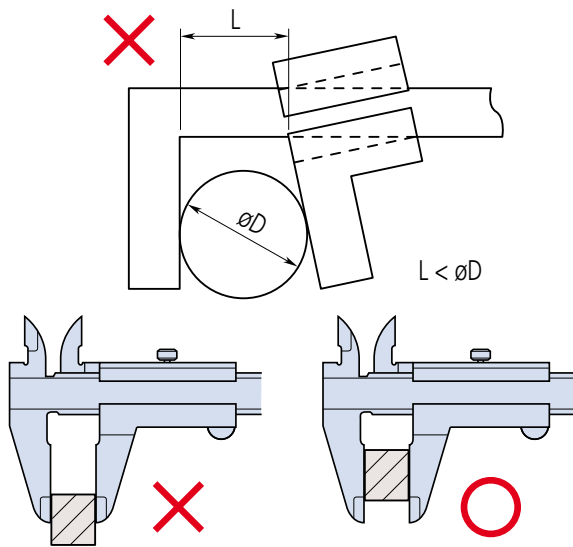
Los calibradores Estilo Nib de Mitutoyo están provistos de una escala extra en el cursor para mediciones de interiores de tal forma que se pueden leer directamente sin necesidad de cálculo, justo en lo que se refiere a una medición de exteriores. Esta útil característica elimina la posibilidad del error que se produce cuando se tiene que añadir la corrección del espesor de las puntas de interiores en un calibrador de escala única.



■ Notas generales sobre el uso del calibrador

1. Causas potenciales de error

Una variedad de factores pueden causar errores cuando se mide con un calibrador. Los factores más importantes incluyen los efectos de paralaje, la fuerza de medición excesiva debido al hecho de que un calibrador no es conforme con el Principio de Abbe, la expansión térmica diferencial debido a una diferencia de temperatura entre el calibrador y la pieza de trabajo y el efecto del espesor de las puntas de filo de cuchilla y la holgura entre estas puntas durante la medición del diámetro de un orificio pequeño. Aunque hay también otros factores de errores tales como la exactitud de la graduación, la rectitud del borde de referencia, la planitud de la escala principal en la cuchilla principal y la perpendicularidad de las puntas, estos factores se incluyen dentro de las tolerancias de error instrumentales. Por lo tanto, estos factores no causan problemas mientras el calibrador satisfaga las tolerancias de error instrumentales. Manejar las notas es muy importante para que los clientes puedan apreciar los factores de error causados por la estructura del calibrador antes de su utilización. Estas notas están relacionadas con la fuerza de medición y estipulan que "ya que el calibrador no tiene un dispositivo de fuerza constante, debe medir una pieza de trabajo con una fuerza de medición uniforme apropiada. Tenga cuidado extra con la punta porque un error grande se podría producir en tales casos."



2. Medición de interiores

Insertar la mordaza de interiores lo más profundamente posible antes de la medición.

Leer el valor máximo indicado durante la medición de interiores.

Leer el valor mínimo indicado durante la medición de la anchura de la acanaladura.

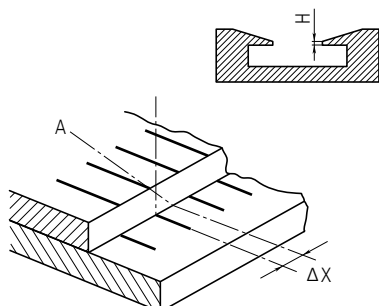
3. Medición de profundidades

Leer el valor mínimo indicado durante la medición de profundidad.

4. Error de paralaje cuando se leen las escalas

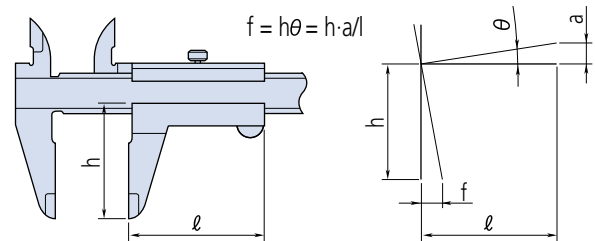
Mirar directamente a la línea de graduación vernier cuando se comprueba la alineación de las líneas de graduación de vernier con las líneas de graduación de la escala principal.

Si mira a una línea de graduación vernier desde una dirección oblicua (A), la posición de alineación aparente se distorsiona por ΔX tal como se muestra en la figura de abajo debido a un efecto de paralaje causado por la altura del paso (H) entre los planos de las graduaciones vernier y las graduaciones de la escala principal, dando como resultado un error de lectura del valor medido.



5. Error de Inclinación de la Punta Móvil

Si la punta móvil llega a inclinarse fuera de la paralela con la punta fija, tanto a través de la fuerza excesiva utilizada en el cursor o la falta de rectitud en el borde de referencia de la regla, se producirá un error de medición tal como se muestra en la figura. Este error podría ser importante debido al hecho de que un calibrador no sea conforme con el Principio de Abbe.



Ejemplo: Asumir que la pendiente de error de las puntas debido a la inclinación del cursor es de 0.01 mm en 50 mm y las puntas de medición de exteriores tienen una profundidad de 40 mm, entonces el error (en la punta) se calcula como $(40/50) \times 0.01 \text{ mm} = 0.008 \text{ mm}$. Si la cara de la guía está gastada puede que se presente un error incluso aunque se utilice la fuerza de medición correcta.

6. Relación entre medición y temperatura

La escala principal de un calibrador está grabada (o montada sobre) acero inoxidable y aunque el coeficiente de dilatación térmica lineal es igual al del material más común de la pieza de trabajo, acero, esto es $(10.2 \pm 1) \times 10^{-6} / \text{K}$, debe tener en cuenta que otros materiales de piezas de trabajo, la temperatura ambiente y la temperatura de la pieza de trabajo podrían afectar a la exactitud de la medición.

7. Manejo

Las puntas del calibrador son de aristas vivas y, por lo tanto, el aparato se debe manejar con cuidado para evitar lesiones personales.

Evite dañar la escala de un calibrador digital no grave un número de identificación u otra información en la misma con un marcador eléctrico.

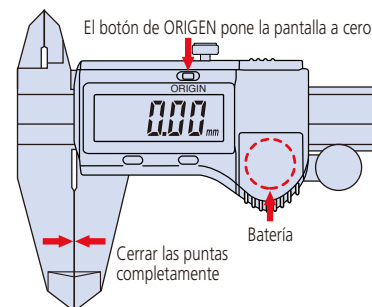
Evite dañar un calibrador sometiéndolo a golpes con objetos duros o dejándolo caer en una mesa de trabajo o en el suelo.

8. Mantenimiento de las superficies de deslizamiento de la regla y de las caras de medición

Limpie con un paño suave para eliminar el polvo y la suciedad de las superficies de deslizamiento y las caras de medición antes de usar el calibrador.

9. Comprobar y ajustar el origen antes de utilizar

Limpie las superficies de medición sujetando una hoja de papel limpio entre las puntas de exteriores y, a continuación, tire de la misma hacia afuera suavemente. Cierre las puntas y asegúrese de que la escala vernier (o la pantalla) indica cero antes de utilizar el calibrador. Cuando utilice un calibrador Digimatic, establezca el origen (botón de ORIGEN) tras sustituir la batería.



10. Manejo tras la utilización

Tras utilizar el calibrador, limpie completamente cualquier resto de agua y aceite. A continuación, aplique ligeramente aceite anticorrosión y deje que se seque antes de almacenarlo.

Quite el agua de un calibrador a prueba de agua también porque podría oxidarse.

11. Notas sobre el almacenamiento

Evite la luz directa del sol, temperaturas altas y humedad alta durante el almacenamiento.

Si un calibrador digital no se utilizará durante más de tres meses, quite la batería antes de almacenarlo.

No deje las puntas de un calibrador completamente cerradas durante el almacenamiento.

Calibradores

Método de evaluación del rendimiento del calibrador

JIS B 7507 se revisó y emitió en 2016 como las normas industriales japonesas del calibrador, y el "Error instrumental" que indica el error de indicación del calibrador se ha cambiado a "Error máximo permitido (MPE) de indicación".

El "error instrumental" del antiguo JIS adopta el criterio de aceptación de que el intervalo de especificación (especificación de exactitud) es igual al rango de aceptación, y el juicio OK / NG no incluye la incertidumbre de la medición. (Figura 1)

El "Error Máximo Permissible (MPE) de indicación" del nuevo JIS adopta el concepto básico del juicio OK / NG teniendo en cuenta la incertidumbre adoptada en la norma ISO (ISO 14253-1).

La verificación de conformidad y no conformidad con las especificaciones está claramente estipulada para utilizar los criterios de aceptación reconocidos internacionalmente (aceptación simple) cuando el intervalo de especificación es igual al intervalo de aceptación, y se acepta que el intervalo de especificación es igual al intervalo de aceptación si una condición dada considerando la incertidumbre se cumple.

En este caso, el criterio de aceptación reconocido internacionalmente es ISO / TR 14253-6: 2012. (Figura 2)

A continuación se describe el método de inspección estándar, incluido el contenido revisado de JIS 2016.

Fig. 1 **JIS Anterior** Error Instrumental
JIS B 7507-1993

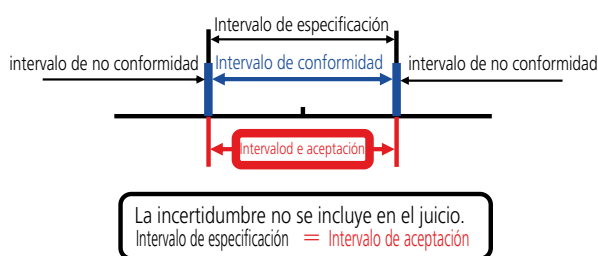
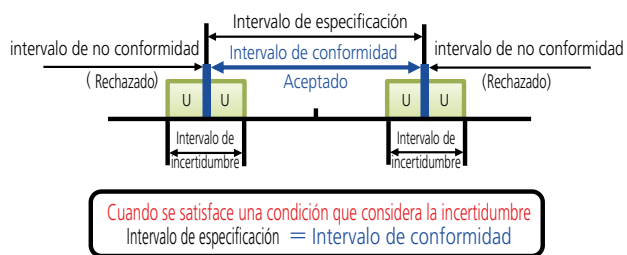


Fig. 2 **Nueva JIS** Error Máximo Permitido (MPE)
JIS B 7507: 2016 (ISO/TR 14253-6: 2012)



Error máximo permisible de error de contacto de superficie de medición parcial E_{MPE} [JIS B 7507:2016]

El error de contacto de la superficie de medición parcial de un calibrador es un error de indicación aplicado a la medición exterior.

La tabla 1 muestra el error máximo permitido E_{MPE} del valor de indicación del error de contacto de la superficie de medición parcial.

El valor se puede obtener insertando un bloque patrón, o un equivalente o calibrador más alto, entre las superficies de medición exteriores (Fig. 3), midiendo la posición diferente a lo largo de la mordaza en una posición arbitraria en el intervalo de medición y luego restando la dimensión del calibrador del valor indicado.

Error de cambio de escala S_{MPE} [JIS B 7507: 2016]

El error de cambio de escala en un calibrador es un error de indicación de la medición interior, medición de profundidad, etc., si se utilizan superficies de medición distintas de las superficies de medición externas.

El error máximo permitido S_{MPE} del valor de indicación para la medición interior se da en la **Tabla 1**. El error máximo permitido S_{MPE} de la medida de profundidad se obtiene sumando 0,02 mm a un valor en la **Tabla 1**.

El error de indicación para la medición interior se puede obtener utilizando bloques patrón (o estándares equivalentes) y mordazas estándar de un juego de accesorios para formar dimensiones internas precisas para la calibración (Fig.4), con el error dado por el valor indicado menos el medidor. tamaño de bloque.

Unidad: mm

Longitud de Medición	Intervalo de escala, graduación o resolución	
	0.05	0.02
50 o menos	± 0.05	± 0.02
Más de 50, 100 o menos	± 0.06	± 0.03
Más de 100, 200 o menos	± 0.07	
Más de 200, 300 o menos	± 0.08	± 0.04

Nota: E_{MPE} incluye el error de medición derivado de la rectitud, planitud y paralelismo de la superficie de medición.

Tabla 1: Error máximo permitido E_{MPE} del error de contacto de la superficie de medición parcial en un calibrador convencional.

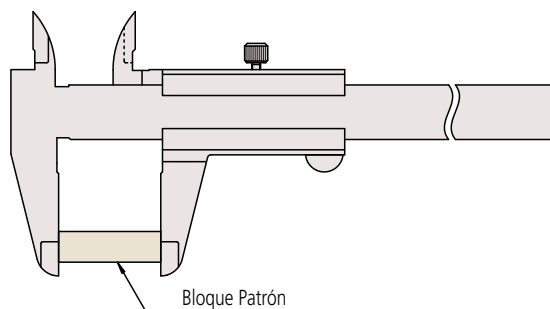


Fig. 3: Determinación del error de contacto de la superficie de medición parcial

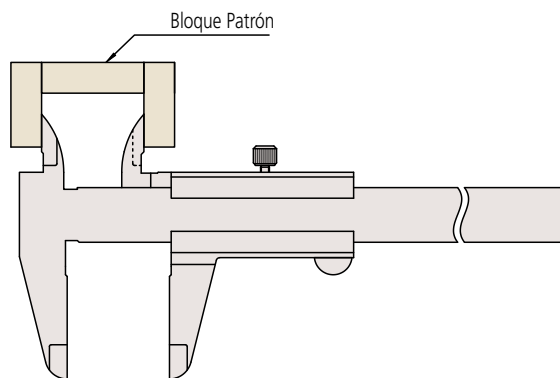


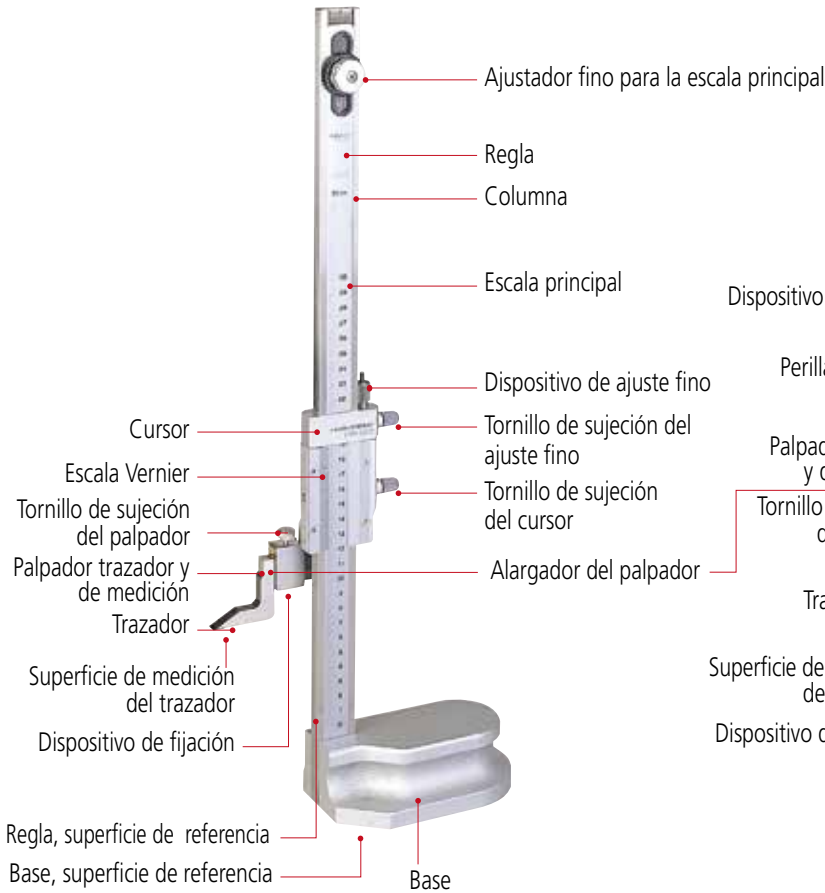
Fig. 4: Determinación del error de indicación de medición interior



Medidores de Altura

Nomenclatura

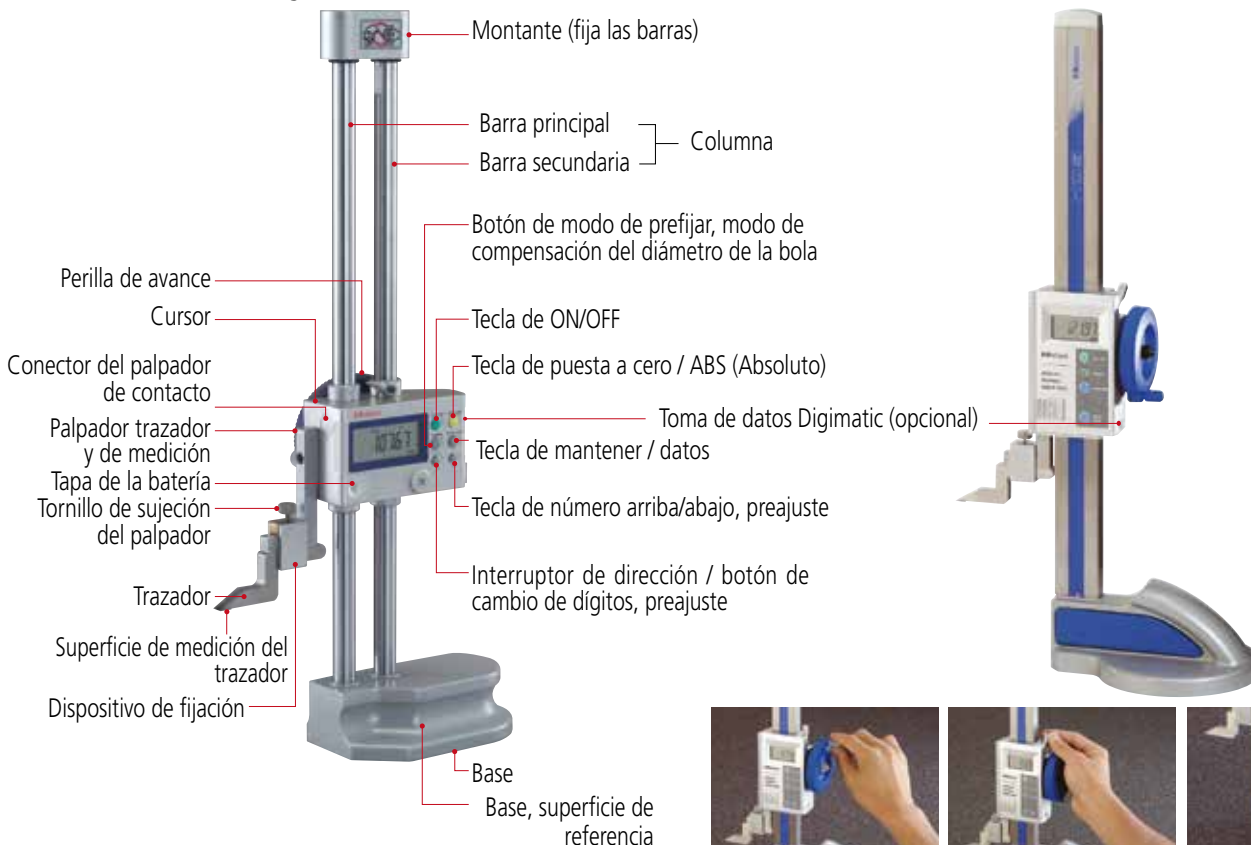
Medidor de Altura con Escala Vernier



Medidor de Altura con Dígitos Mecánicos



Medidores de Altura Digimatic



Perilla del cursor



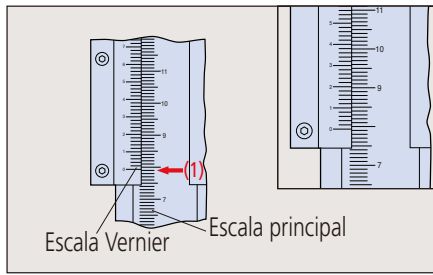
Freno del cursor



Base ergonómica

■ Cómo Leer

● Medidor de Altura con Escala Vernier



Graduación	0.02mm
(1) Escala principal	79 mm
(2) Escala Vernier	0.36 mm
Lectura	79.36 mm

■ Notas generales sobre el uso de los Medidores de Altura

1. Causas potenciales de error

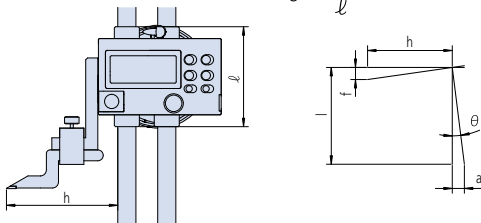
Como en el calibrador, los factores de error ocasionados incluyen los efectos de paralaje, el error causado por la fuerza de medición excesiva debido a que un medidor de altura no es conforme con el Principio de Abbe y la dilatación térmica diferencial debido a la diferencia de temperatura entre el medidor de altura y la pieza de trabajo.

Hay además otros factores de error causados por la estructura del medidor de altura. En particular, los factores de error relacionados con un borde de referencia alabeado o deformado y la instalación del trazador descrito a continuación se deberían estudiar antes de su utilización.

2. Alabeo del borde de referencia (columna) e instalación del trazador

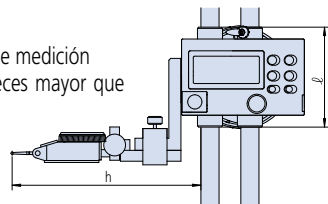
Al igual que en el calibrador y tal como se muestra en la siguiente figura, los errores de medición se producen cuando al usar el medidor de altura en la columna de referencia, que guía el cursor, se llega a alabeo. Este error se puede representar por la misma fórmula de cálculo para los errores causados por la disformidad con el Principio de Abbe.

$$f = h \theta = h \frac{a}{l}$$



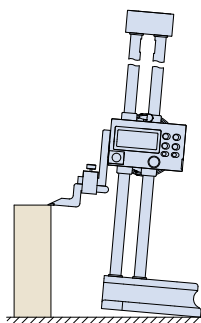
Instalar el trazador (o un indicador de cuadrante del tipo de palanca) requiere una consideración cuidadosa porque afecta al tamaño de cualquier error debido a una columna de referencia alabeada o deformada aumentando la dimensión h en la fórmula de arriba. En otras palabras, si se utiliza un trazador largo opcional o un indicador de cuadrante del tipo de palanca, el error de medición llegará a ser mayor.

Ejemplo: Efecto de la posición del punto de medición
Cuando h es 150 mm., el error es 1,5 veces mayor que cuando h es 100 mm.



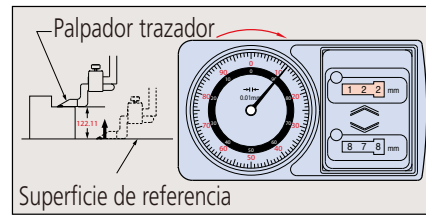
3. Elevación de la base desde la superficie de referencia

Cuando se ajuste la altura del trazador con una pila de bloques, o desde un elemento de pieza de trabajo, la base se podría elevar desde la superficie si se usara una fuerza excesiva hacia abajo en la corredera, y esto resultaría en un error de medición. Para el ajuste preciso, desplace el cursor lentamente hacia abajo mientras mueve la punta del trazador de un lado a otro sobre la superficie del bloque del medidor (o elemento). El ajuste correcto es cuando el trazador palpa para tocar ligeramente según se desplaza sobre el borde de la superficie. También es necesario asegurarse de que la placa de la superficie y la superficie de referencia de la base del medidor de altura estén libres de polvo o rebabas antes de usarlas.



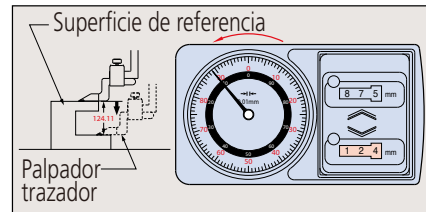
● Medidor de Altura Digital Mecánico

Medir hacia arriba desde una superficie de referencia



Contador	122 mm
Carátula	0.11 mm
Lectura	122.11 mm

Medir hacia abajo desde una superficie de referencia



Contador	124 mm
Carátula	0.11 mm
Lectura	124.11 mm

4. Relación entre la exactitud y la temperatura

Los medidores de altura están hechos de diversos materiales. Se debe tener en cuenta que algunas combinaciones del material de la pieza de trabajo, temperatura ambiente y temperatura de la pieza de trabajo podrían afectar a la exactitud de la medición si no se impide realizando un cálculo de corrección.

5. La punta del trazador del medidor de altura es muy afilada y se debe manejar con cuidado para evitar lesiones personales.

6. Procure no dañar una escala del medidor de altura digital grabando un número de identificación u otra información sobre la misma con un marcador eléctrico.

7. Maneje con cuidado el medidor de altura para no dejarlo caer ni golpearlo contra nada.

■ Notas sobre el uso del medidor de altura

1. Mantenga la columna, que guía el cursor, limpia. Si se acumula polvo o suciedad en la misma, el deslizamiento llegará a ser dificultoso, llevando a errores en el ajuste y la medición.

2. Cuando se trace, bloquee firmemente el cursor en posición usando los accesorios de sujeción provistos. Se aconseja confirmar el ajuste después de sujetarlo porque el acto de sujetar en algunos medidores de altura puede que altere el ajuste ligeramente; esto, se debe prever a la hora del ajuste.

3. El paralelismo entre la cara de medición del trazador y la superficie de referencia de la base debería ser de 0.01mm o mejor. Elimine cualquier polvo o rebabas de la superficie de montaje a la hora de instalar el trazador o el indicador de cuadrante del tipo de palanca antes de la medición. Mantenga el trazador y otras partes fijas firmemente durante la medición.

4. Si la escala principal del medidor de altura se puede mover; desplácelo según se requiera para fijar el punto cero y apriete las tuercas de fijación firmemente.

5. Los errores debidos al error de paralaje no son insignificantes. Cuando se lea un valor, mire siempre directamente a las graduaciones.

6. Cuidados después de utilizarlo: Elimine cualquier resto de agua y aceite limpiándolos con un paño. Aplique ligeramente una capa fina de aceite anticorrosión y deje que se seque antes del almacenamiento.

7. Notas sobre el almacenamiento:

Evite la luz directa del sol, las temperaturas altas, las temperaturas bajas y la humedad alta durante el almacenamiento.

Si un medidor de altura digital no se va a utilizar durante más de tres meses, quite la batería antes de almacenarlo.

Si se dispone de una funda de protección, utilice la funda durante el almacenamiento para evitar que el polvo se adhiera a la columna.

Método de evaluación del desempeño del medidor de altura

JIS B 7517 se revisó y emitió en 2018 como las normas industriales japonesas del medidor de altura, y el "Error instrumental" que indica el error de indicación del medidor de altura se ha cambiado a "Error máximo permitido (MPE) de indicación".

El "error instrumental" del antiguo JIS adopta el criterio de aceptación de que el intervalo de especificación (especificación de precisión) es igual al intervalo de aceptación, y el juicio OK / NG no incluye la incertidumbre de la medición (Fig. 1).

El "Error Máximo Permisible (MPE) de indicación" del nuevo JIS emplea el concepto básico del juicio OK / NG teniendo en cuenta la incertidumbre adoptada en la norma ISO (ISO 14253-1).

La verificación de conformidad y no conformidad con las especificaciones está claramente estipulada para utilizar los criterios de aceptación reconocidos internacionalmente (aceptación simple) cuando el intervalo de especificación es igual al intervalo de aceptación, y se acepta que el intervalo de especificación es igual al intervalo de aceptación si una condición dada considerando la incertidumbre. se cumple.

El mencionado criterio de aceptación internacionalmente reconocido es ISO / TR 14253-6: 2012 (Fig. 2).

A continuación se describe el método de inspección estándar, incluido el contenido revisado de JIS 2018.

Fig. 1 **JIS Anterior** Error Instrumental
JIS B 7517-1993

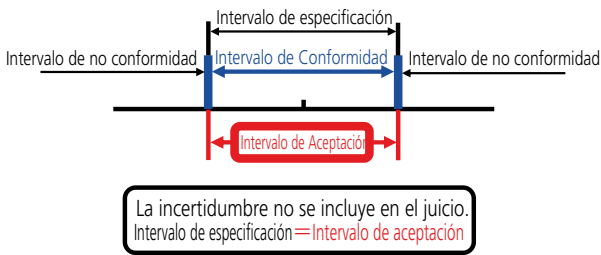
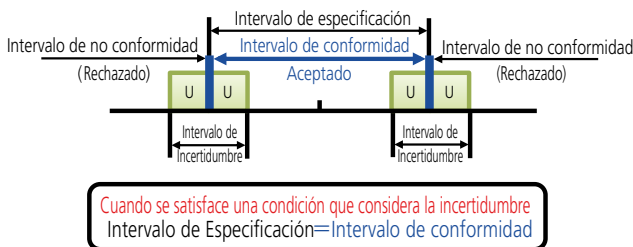


Fig. 2 **Nueva JIS** Máximo error permitido (MPE)
JIS B 7517: 2018 (ISO/TR 14253-6: 2012)



Error máximo permitido de altura medición E_{MPE} [JIS B 7517: 2018]

El error de medición de altura en un medidor de altura es el error de indicación cuando el borde de referencia (columna) es perpendicular a la superficie de referencia de la base y la dirección de contacto es hacia abajo.

La Tabla 1 muestra el error de medición de altura máximo permitido E_{MPE} . El E_{MPE} para cualquier altura deseada se obtiene midiendo un bloque patrón, o equivalente, con un medidor de altura en una placa de superficie de exactitud (Fig. 3) y luego restando el tamaño del bloque patrón del tamaño medido.

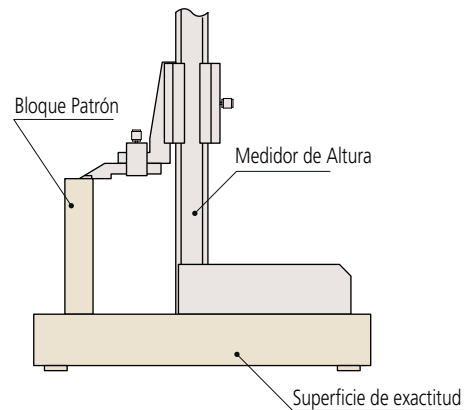
Tabla 1: Error de medición de altura máximo permisible E_{MPE} de un medidor de altura convencional

Unidad: mm

Altura de medición	Intervalo de escala, graduación o resolución	
	0.05	0.02 ó 0.01
50 o menos	±0.05	±0.02
Más de 50, 100 o menos	±0.06	±0.03
Más de 100, 200 o menos	±0.07	
Más de 200, 300 o menos	±0.08	±0.04
Más de 300, 400 o menos	±0.09	
Más de 400, 500 o menos	±0.10	±0.05
Más de 500, 600 o menos	±0.11	
Más de 600, 700 o menos	±0.12	±0.06
Más de 700, 800 o menos	±0.13	
Más de 800, 900 o menos	±0.14	±0.07
Más de 900, 1000 o menos	±0.15	

Note: E_{MPE} includes the measurement error arising from straightness, flatness of the measuring surface and parallelism with the reference surface.

Fig. 3: Determinación del error de medición de altura.



El "Error instrumental" que indica el error de indicación de JIS se ha cambiado a "Error máximo permitido (MPE) de indicación" para los siguientes modelos:

- Medidor de altura Digimatic Serie 192 descrito en la página D-41 (Todos los modelos)
- Medidor de alturas Digimatic ABSOLUTE Serie 570 descrito en la página D-43 (Todos los modelos)
- Medidor de altura Digimatic Serie 570 descrito en la página D-45 (Todos los modelos)
- Medidor de altura estándar serie 514, 506 con escala principal ajustable descrito en la página D-47 (Todos los modelos)
- Serie 192 Con contador digital descrito en la página D-48 (Todos los modelos)

Medidores de Profundidad

Método de evaluación del desempeño del medidor de profundidad

JIS B 7518 se revisó y emitió en 2018 como las Normas Industriales Japonesas del medidor de profundidad, y el "Error instrumental" que indica el error de indicación del medidor de profundidad se ha cambiado a "Error máximo permitido (MPE) de indicación".

El "error instrumental" del antiguo JIS adopta el criterio de aceptación de que el intervalo de especificación (especificación de precisión) es igual al intervalo de aceptación, y el juicio OK / NG no incluye la incertidumbre de la medición (Fig. 1).

El "Error Máximo Permissible (MPE) de indicación" del nuevo JIS emplea el concepto básico del juicio OK / NG teniendo en cuenta la incertidumbre adoptada en la norma ISO (ISO 14253-1).

La verificación de conformidad y no conformidad con las especificaciones está claramente estipulada para utilizar los criterios de aceptación reconocidos internacionalmente (aceptación simple) cuando el rango de especificación es igual al intervalo de aceptación, y se acepta que el intervalo de especificación es igual al intervalo de aceptación si una condición dada considerando la incertidumbre se cumple.

El mencionado criterio de aceptación internacionalmente reconocido es ISO / TR 14253-6: 2012 (Fig. 2).

A continuación se describe el método de inspección estándar, incluido el contenido revisado de JIS 2018.

Fig. 1 JIS Anterior Error Instrumental
JIS B 7518-1993

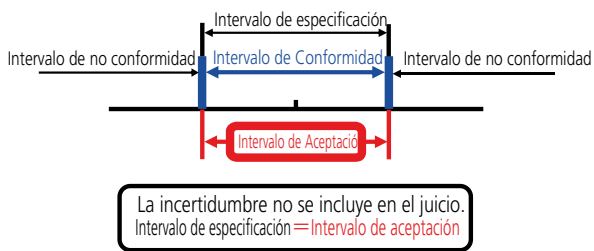
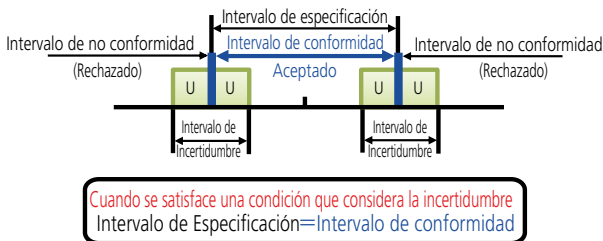


Fig. 2 Nueva JIS Máximo error permitido (MPE)
JIS B 7518: 2018 (ISO/TR 14253-6: 2012)



Error máximo permitido de profundidad

medición E_{MPE} [JIS B 7518: 2018]

El error máximo permitido E_{MPE} de un medidor de profundidad es un error de indicación aplicado a la medición de profundidad.

Tabla 1 muestra el error máximo permitido E_{MPE} del valor de indicación del error de contacto de la superficie de medición parcial.

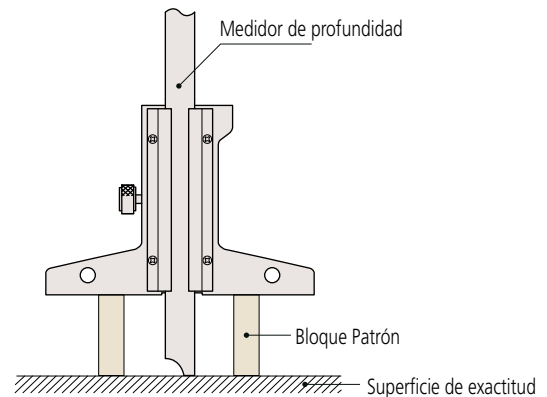
E_{MPE} para cualquier altura deseada se obtiene midiendo la altura de dos bloques patrón de igual longitud, o equivalente, con un medidor de altura en una placa de superficie de exactitud (Fig. 3) y luego restando el tamaño del bloque patrón del tamaño medido.

Table 1: Error máximo permitido E_{MPE} de un medidor de profundidad convencional

Profundidad de medición	Intervalo de escala, graduación o resolución	
	0.05	0.02 ó 0.01
50 o menos	±0.05	±0.02
Más de 50, 100 o menos	±0.06	±0.03
Más de 100, 200 o menos	±0.07	
Más de 200, 300 o menos	±0.08	±0.04
Más de 300, 400 o menos	±0.09	
Más de 400, 500 o menos	±0.10	±0.05
Más de 500, 600 o menos	±0.11	

Nota: E_{MPE} incluye el error de medición derivado de la rectitud, la planitud de la superficie de medición y el paralelismo con la superficie de referencia.

Fig. 3: Determinación del error de medición de profundidad



El "Error instrumental" que indica el error de indicación de JIS se ha cambiado a "Error máximo permitido (MPE) de indicación" para los siguientes modelos:

- Medidor de profundidad Digimatic ABSOLUTE Serie 571 descrito en la página D-62 (Todos los modelos)
- Medidor de profundidad Vernier Serie 527 descrito en la página D-63 (Todos los modelos)
- Tipo de extremo de gancho serie 527, 571 descrito en la página D-64 (Todos los modelos)
- Minímetro de profundidad serie 571 descrito en la página D-65 (Todos los modelos)



Bloques Patrón

Definición del Metro

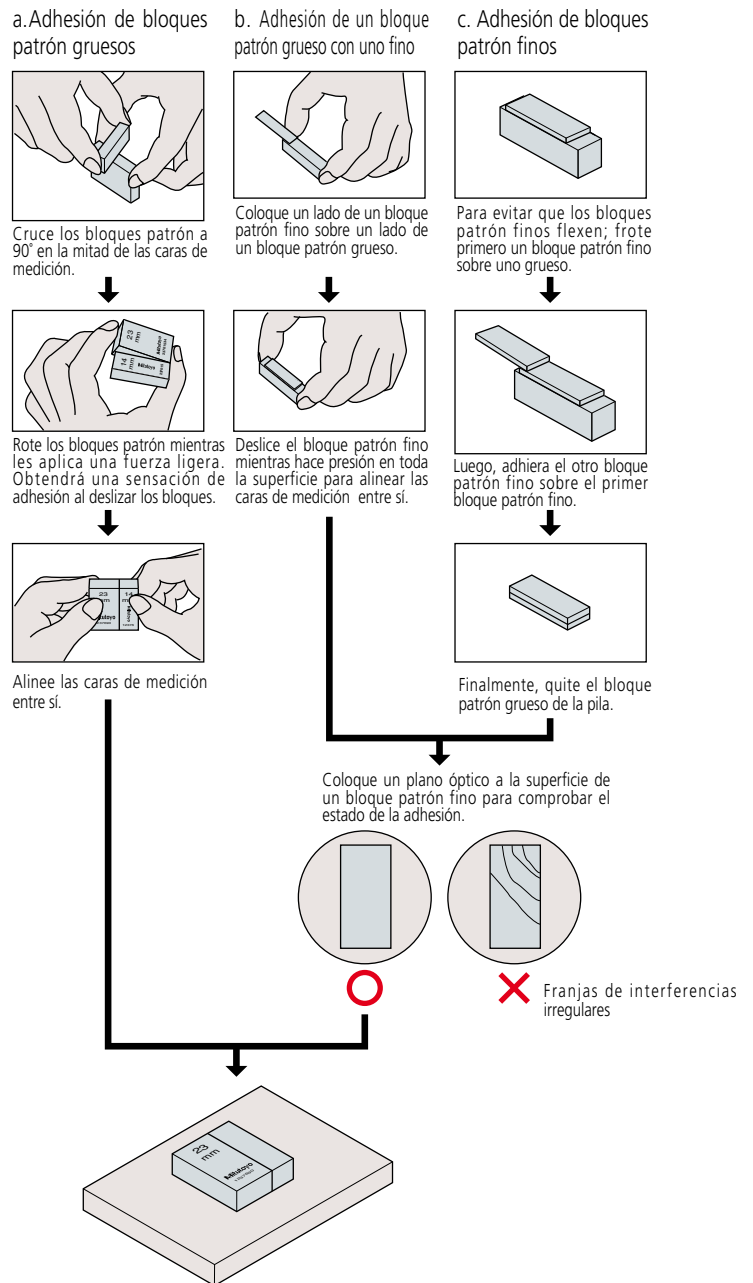
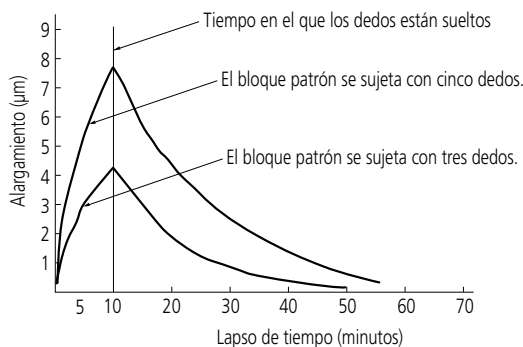
La 17ª Conferencia General de pesos y medidas en 1983 decidió una nueva definición de la unidad métrica como la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en un vacío durante un intervalo de tiempo de $1/299\,792\,458$ de un segundo. El bloque patrón es la realización práctica de esta unidad y como tal es utilizada ampliamente por toda la industria.

Adhesión perfecta de los bloques patrón

- La adhesión se debería realizar siempre en un lugar limpio sobre una base blanda - si los bloques patrón se deslizan de su mano no se dañarán.
- Elimine la película de aceite de los bloques patrón utilizando un paño suave y éter de petróleo.
- Tras esta limpieza "en bruto" las superficies se limpian con un cepillo cosmético enjuagado con éter de petróleo y, a continuación, se dejan "libre de oxidación por corrientes de aire" con un ventilador.
- No utilice nunca alcohol ni bencina común para la limpieza; la bencina común contiene demasiadas impurezas y el alcohol tiene siempre componentes acuosos que podrían causar corrosión.
- Los paños de microfibras son los más adecuados para limpiar frotando los bloques patrón.
- Compruebe que los bloques patrón no tengan oxidación, rayaduras ni raspaduras.
- Si hay algunas rebabas en la superficie de medición, elimínelas con cuidado utilizando una ceraston (piedra de Arkansas), especial para los bloques patrón. Desplace el bloque patrón seco sobre la ceraston (piedra de Arkansas) ejerciendo muy poca presión.
- En el caso de que las superficies de medición estén en buenas condiciones, pero la adhesión sea todavía difícil, puede limpiarlas frotando con lana de algodón médica - sus componentes oleaginosos proporcionarán una película fina mejorando el agarre de las superficies de medición.

Tiempo de Estabilización Térmica

La siguiente figura muestra el grado de cambio dimensional cuando se maneja un bloque patrón de acero de 100 mm. con las manos desnudas.



Limpie la(s) cara(s) de medición expuesta(s) y continúe incrementando la pila, de la misma manera que arriba, hasta que esté completa. La unión entonces se puede estabilizar sobre una superficie plana antes de usarse, si se requiere. No deje la unión por más del tiempo que sea necesario, después de usarlos limpie los bloques y aplique una protección para la oxidación antes de empacarlos en su caja.



Indicadores de Carátula e Indicadores Digitales

Nomenclatura



Carátulas

0.01mm



Carátula continua (Graduación bidireccional)



Carátula balanceada (Multirrevoluciones)



Carátula continua (Lectura inversa)



Carátula balanceada (Una revolución)

0.001mm



Carátula continua (Espaciado de escala estándar)



Carátula balanceada (Multirrevoluciones)



Carátula continua (Espaciado de escala doble)



Carátula balanceada (Una revolución)

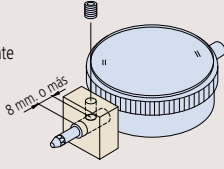
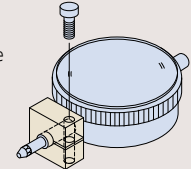
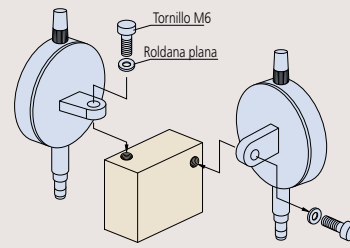
Carátula continua: Para lectura directa

Carátula balanceada: Para leer la diferencia desde una superficie de referencia

Carátula de lectura inversa: Para medición de profundidades o interiores de orificios

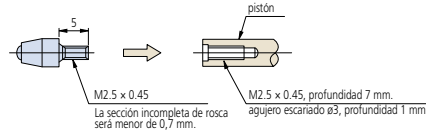
Carátula de una revolución: Para lectura sin errores de diferencias pequeñas

Montaje de un Indicador de Carátula

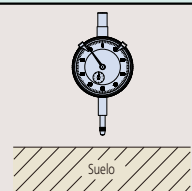
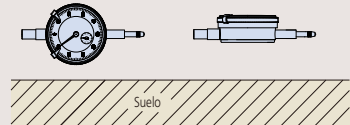

Montaje por el vástago	Método	 <p>Sujeta el vástago directamente con un tornillo</p>	 <p>Sujeta el vástago mediante una brida ajustable</p>
	Nota	<ul style="list-style-type: none"> Tolerancia del orificio de montaje: $\varnothing 8G7(+0.005$ a $0.02)$ Tornillo de sujeción: M4 a M6 Posición de sujeción: 8 mm. o más desde el borde inferior del vástago Torque de sujeción máx.: 150N·cm cuando se sujeta con un tornillo simple M5 Tener en cuenta que el torque excesivo podría afectar negativamente al movimiento del husillo. 	<ul style="list-style-type: none"> Tolerancia del orificio de montaje: $\varnothing 8G7(+0.005$ a $0.02)$
Montaje por la tapa con oreja	Método		
	Nota	<ul style="list-style-type: none"> Se puede cambiar la orientación de la tapa con oreja 90 grados de acuerdo con la aplicación. (La tapa con oreja se coloca horizontalmente a la hora del envío.) Sin embargo, las tapas con oreja de la Serie 1 modelos (N° 1911, 1913-10 y 1003), no se pueden cambiar de la posición horizontal. Para evitar el error del efecto coseno, asegurarse de que el comparador de cuadrante o indicador se monte con su husillo en línea con la dirección de medición prevista. 	

Elemento de contacto

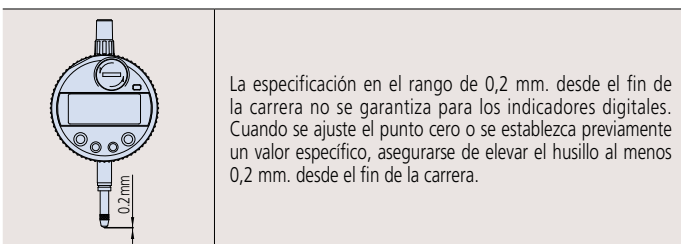
- La rosca del tornillo está estandarizada en M2.5x0.45 (Longitud: 5 mm.).
- La sección incompleta de rosca en la raíz del tornillo será menor de 0,7 mm. a la hora de fabricar una punta de contacto.



Efecto de la orientación en la fuerza de medición

Posición	Observaciones
<p>Punta de contacto hacia abajo (posición normal)</p> 	<p>Si la medición se realiza con el husillo horizontal o la punta de contacto hacia arriba, la fuerza de medición es menor que cuando la punta de contacto está hacia abajo. En este caso, asegúrese de comprobar el funcionamiento y la repetibilidad del indicador o la pantalla digital.</p> <p>Para las especificaciones de operaciones de acuerdo con las posiciones de los indicadores digitales y los indicadores de carátula, remitirse a las descripciones de los productos en un catálogo general.</p>
<p>Husillo horizontal (posición lateral)</p> 	
<p>Punta de contacto hacia arriba (posición invertida)</p> 	

Ajuste del origen de un indicador digital



Cuidado del husillo

- No lubrique el husillo. Si lo hiciera podría causar que se acumule polvo, dando como resultado un funcionamiento defectuoso.
- Si el movimiento del husillo es defectuoso, limpie las superficies superior e inferior del husillo con un paño seco o empapado en alcohol. Si no se mejora el movimiento limpiando, póngase en contacto con Mitutoyo para la reparación.
- Antes de realizar una medición o calibración, por favor confirme si el husillo se desplaza hacia arriba y hacia abajo suavemente y la estabilidad del punto cero.

Indicador de Carátula B7503-1997 (Extracto de la Norma Industrial Japonesa / JIS)

No.	Item	Método de calibración	Diagrama del arreglo de la calibración	Herramientas para la calibración
1	Error de indicación	Manteniendo el indicador con su husillo fijo verticalmente hacia abajo, siga el procedimiento escrito abajo y determine el error de indicación con referencia a las graduaciones de la carátula. Primeramente desplace el husillo hacia arriba sobre todo el intervalo de medición mientras se grafican los errores cada 1/10 de revolución de la aguja para las primeras dos revoluciones desde el punto cero, cada media revolución para las próximas cinco revoluciones y cada revolución después de la quinta revolución, entonces invierta el desplazamiento del husillo al final del intervalo de medición del indicador de carátula y grafique los errores en los mismos puntos medidos durante el desplazamiento hacia arriba del husillo. Determine los errores de la curva de error bidireccional así obtenida. (Fig. 1)		Para indicadores de carátula con graduaciones de 0.001 mm ó 0.002 mm con un intervalo de medición de 2 mm ó menos: Una cabeza micrométrica u otra unidad de medición con graduaciones de 0.5 μ m ó menos y error instrumental de $\pm 1 \mu$ m y una base de soporte. Para indicadores de carátula diferentes de los anteriores: una cabeza micrométrica u otra unidad de medición con graduación de 1 μ m o menos y error instrumental de $\pm 1 \mu$ m y una base de soporte.
2	Error adyacente			
3	Error de retroceso			
4	Repetibilidad	Coloque la punta de contacto del indicador de carátula perpendicular a la superficie superior de una superficie de medición, desplace el husillo rápida y lentamente cinco veces a una posición deseada dentro del intervalo de medición y determine la diferencia máxima entre las cinco indicaciones obtenidas.		Superficie de medición Base de soporte
5	Fuerza de medición	Manteniendo el indicador con su husillo fijo verticalmente hacia abajo, desplace el husillo hacia arriba y hacia abajo continua y gradualmente y tome mediciones de la fuerza de medición en los puntos cero, medio y final en el intervalo de medición en ambas direcciones hacia arriba y hacia abajo		Base de soporte Balanza de resorte tipo plato superior (graduación 2 gf ó menos) o medidor de fuerza (sensibilidad: 0.02 N ó menos)

Error máximo permitido de indicación

Unidad: μ m

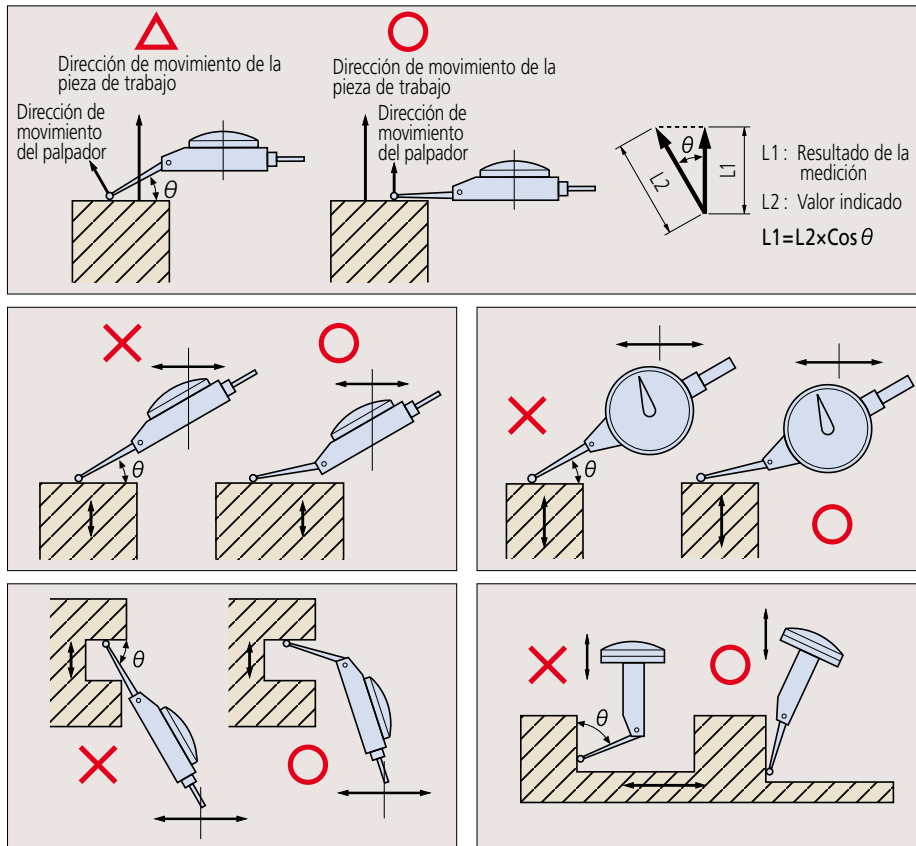
Graduación (mm)	Error máximo permitido de indicación (MPE) por características de mediciones - indicadores de carátula con bisel de diámetro 50mm ó más												Error máximo permitido de indicación (MPE) por características de medición - indicadores de carátula con bisel de diámetro 50mm o menos e indicadores de carátula tipo tapa con oreja							
	0.01								0.005	0.001			0.01				0.005	0.002	0.001	
Intervalo de medición (mm)	1 o menos	Más de 1 y hasta 3	Más de 3 y hasta 5	Más de 5 y hasta 10	Más de 10 y hasta 20	Más de 20 y hasta 30	Más de 30 y hasta 50	Más de 50 y hasta 100	5 o menos	1 o menos	Más de 1 y hasta 2	Más de 2 y hasta 5	1 o menos	Más de 1 y hasta 3	Más de 3 y hasta 5	Más de 5 y hasta 10	5 o menos	1 o menos	1 o menos	
Error de retroceso	3	3	3	3	5	7	8	9	3	2	2	3	4	4	4	5	3.5	2.5	2	
Repetibilidad	3	3	3	3	4	5	5	5	3	0.5	0.5	1	3	3	3	3	3	1	1	
Error de indicación	1/10 revolución arbitraria	5	5	5	5	8	10	10	12	5	2	2	3.5	8	8	8	9	6	2.5	2.5
	1/2 revolución arbitraria	8	8	9	9	10	12	12	17	9	3.5	4	5	11	11	12	12	9	4.5	4
	Una revolución arbitraria	8	9	10	10	15	15	15	20	10	4	5	6	12	12	14	14	10	5	4.5
	Intervalo de medición completo	8	10	12	15	25	30	40	50	12	4	7	10	15	16	18	20	12	6	5
MPE para indicadores de carátula tipo una revolución no define el error de indicación de 1/2 y 1 revolución arbitraria																				

* Los valores en la tabla de arriba se aplican a 20°C, que JIS B0680 define como la temperatura estándar.

* Las características de medición de un indicador de carátula para cumplir el error máximo permitido de indicación (MPE) y los límites permisibles de fuerza de medición (MPL) en cualquier posición dentro el intervalo de medición en cualquier orientación cuando las características de la medición no se especifican por el fabricante.

■ Indicador de Prueba de Carátula y el Efecto Coseno

Minimice siempre el ángulo entre las direcciones de movimiento durante su utilización.



La lectura de cualquier indicador no representará una medición exacta si su dirección de medición está desalineada de la dirección pretendida de medición (efecto coseno). Debido a que la dirección de medición de un indicador de prueba de carátula es en ángulos rectos a una línea dibujada a través del punto de contacto y el pivote del palpador, este efecto se puede minimizar ajustando el palpador para minimizar el ángulo θ (tal como se muestra en las figuras). Si fuera necesario, la lectura de la carátula se puede compensar para el valor real de θ utilizando la tabla de abajo para dar el resultado de la medición.

Resultado de medición = valor indicado x valor de compensación

Compensación para un ángulo distinto de cero

Ángulo	Valor de compensación
10°	0.98
20°	0.94
30°	0.86
40°	0.76
50°	0.64
60°	0.50

Ejemplos

Si se indica una medición de 0,200 mm. en la carátula en diversos valores de θ , el resultado de las mediciones será:

Para $\theta = 10^\circ$, $0,200 \text{ mm} \times ,98 = 0,196 \text{ mm}$

Para $\theta = 20^\circ$, $0,200 \text{ mm} \times ,94 = 0,188 \text{ mm}$

Para $\theta = 30^\circ$, $0,200 \text{ mm} \times ,86 = 0,172 \text{ mm}$



Indicador Tipo Palanca B7533-1990 (Extracto de la Norma Industrial Japonesa / JIS)

No.	Item	Método de calibración	Diagrama del arreglo de la calibración	Herramientas para calibración
1	Error en el intervalo amplio	(1) Para un indicador con graduación de 0.01 mm: Desplace la punta de contacto para que se mueva la aguja indicadora en sentido horario en incrementos de 0.1 mm con referencia a las graduaciones desde el punto cero hasta el punto final del intervalo de medición mientras se toman lecturas del equipo de calibración en cada punto y determine su error a partir de la gráfica dibujada con las diferencias de cada "lectura indicada – lectura del equipo de calibración".		Cabeza micrométrica o unidad de medición (graduación $\pm 1 \mu\text{m}$ ó menos, error instrumental: dentro de $1 \mu\text{m}$), base soporte
2	Error adyacente	(2) Para un indicador con graduación de 0.002 mm: Desplace la punta de contacto para que se mueva la aguja indicadora en sentido horario en incrementos de 0.02 mm con referencia a las graduaciones desde el punto cero hasta el punto final del intervalo de medición mientras se toman lecturas del equipo de calibración en cada punto y determine su error a partir de la gráfica dibujada con las diferencias de cada "lectura indicada – lectura del equipo de calibración". El error instrumental del equipo de calibración se debe compensar antes de esta medición.		
3	Error de retroceso	Después de completar el error de medición del intervalo amplio invierta el movimiento a partir del último punto de medición mientras toma lecturas en las mismas graduaciones de la escala que las tomadas para el error de medición del intervalo amplio y determine el error de retroceso a partir de la curva de error graficada.		
4	a	Manteniendo el indicador de carátula tipo palanca con su punta paralela con la superficie superior de la superficie de medición, desplace la punta de contacto rápida y lentamente a una posición deseada dentro del intervalo de medición y determine la máxima diferencia en indicación.		Superficie de medición, base soporte y bloque patrón de grado 1 como es estipulado en JIS B 7506 (Bloques patrón)
	b	Manteniendo la punta paralela a un bloque patrón colocado sobre la superficie de medición, mueva el bloque patrón al frente y atrás y de izquierda a derecha bajo la punta de contacto dentro del intervalo de medición y determine la máxima diferencia en indicación.		
5	Fuerza de medición	Manteniendo un indicador por el cuerpo o el vástago, desplace la punta de contacto gradual y continuamente en las direcciones hacia delante y hacia atrás respectivamente y tome una lectura de la fuerza de medición en los puntos cero, medio y final del intervalo de medición en cada dirección. ● Desempeño La máxima fuerza de medición en la dirección hacia el frente no debe exceder 0.5N. La diferencia entre la fuerza máxima y mínima en una dirección no debe exceder 0.2N (20gf). Note que la mínima fuerza de medición posible es deseable para los indicadores		Balanza de resorte tipo plato superior (graduación: 2gf ó menos) o medidor de fuerza (sensibilidad 0.02 N ó menos)

● Error de indicación

Los errores permitidos de indicación para indicadores tipo palanca se muestran en la tabla de abajo.

Graduación (mm)	Intervalo de medición (mm)	Error del intervalo amplio	Error adyacente	Repetibilidad	Error de retroceso
0.01	0.5	5	5	3	3
	0.8	8			4 ^{*1}
	1.0	10			
0.002	0.2	3	2	1	2
	0.28				

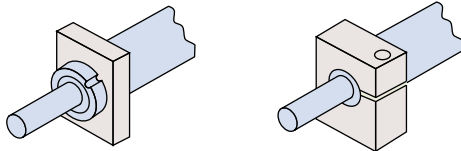
*1: Aplica a indicadores con punta de contacto mayores a 35 mm de longitud.
 Observaciones: Los valores en la tabla de arriba aplican a 20°C.



Cabeza

■ Vástago Liso y Vástago con Tuerca de Fijación

El vástago que se usa para montar un cabezal de medidor lineal se clasifica como "tipo liso" o "tipo de tuerca de fijación" tal como se ilustra debajo. El vástago con tuerca de sujeción permite una sujeción rápida y segura del cabezal del medidor lineal. El vástago liso tiene la ventaja de una aplicación amplia y un ajuste posicional ligero en la dirección axial en la instalación final, aunque requiere un arreglo de brida ajustable o fijación con adhesivo. Sin embargo, tenga cuidado de no ejercer una fuerza excesiva en el vástago.



Vástago del tipo de tuerca de fijación Vástago liso

■ Fuerza de Medición

Esta es la fuerza ejercida en una pieza durante la medición por la punta de contacto de una del medidor lineal, al final del recorrido, expresado en Newtons.

■ Medición Comparativa

Un método de medición donde se encuentra una dimensión de la pieza de trabajo midiendo la diferencia en tamaño entre la pieza de trabajo y un medidor patrón que representa la dimensión nominal de la pieza de trabajo.

■ Código de Protección Contra el Ingreso

Código de protección IP54

Tipo	Nivel	Descripción
Protege el cuerpo humano y protege contra los objetos extraños	5: Protegido contra el polvo	Protección contra el polvo nocivo
Protege contra la exposición al agua	4: Tipo contra salpicaduras	La salpicadura de agua contra el cierre desde cualquier dirección no tendrá efecto nocivo.

Código de protección IP66

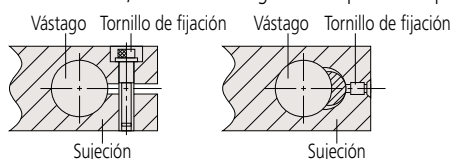
Tipo	Nivel	Descripción
Protección contra el contacto con el cuerpo humano y objetos extraños	6: Hermético al polvo	Protección contra la entrada de polvo Protección completa contra el contacto
Protege contra la exposición al agua	6: Tipo resistente al agua	Los chorros de agua dirigidos contra el cierre desde cualquier dirección no tendrán efectos nocivos.

■ Precauciones al Montar un Medidor Lineal

- Inserte el vástago en el montaje de sujeción de una unidad de medición o un soporte y apriete el tornillo de fijación.
- Tenga en cuenta que un apriete excesivo del vástago puede causar problemas con el funcionamiento del husillo.
- No utilice nunca un método de montaje en el que el vástago se sujete por contacto directo con un tornillo.
- No monte nunca un medidor lineal por una parte que no sea el vástago.
- Monte el cabezal del medidor de tal forma que esté en línea con la dirección prevista de medición. El montar el cabezal en ángulo a esta dirección producirá un error en la medición.
- Tenga cuidado de no jalar el medidor por el cable.

■ Precauciones al Montar una Holoescala Láser

Para fijar la Holoescala Láser, inserte el vástago en el soporte o dispositivo especial.



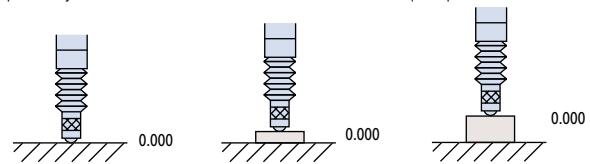
Diámetro de orificio recomendado en el lado de fijación: 15 mm. +0.034/-0.014

- Maquine el orificio de sujeción para que su eje esté paralelo a la dirección de medición. Montar el medidor en ángulo causará un error de medición.
- Cuando fije la Holoescala Láser, no sujete el vástago muy fuerte. Un apriete excesivo del vástago podría perjudicar la capacidad de deslizamiento del husillo.
- Si se realiza la medición mientras se mueve la Holoescala Láser, montarla de tal forma que el cable no se deforme y que no se ejerza ninguna fuerza indebida al cabezal del medidor.

Unidad de Visualización

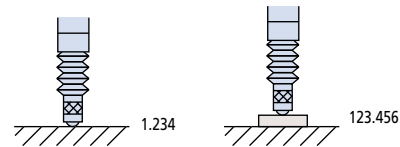
■ Ajuste del cero

Se puede fijar un valor de visualización en 0 (cero) en cualquier posición del husillo.



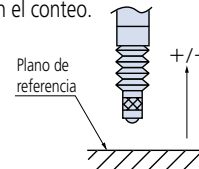
■ Prefijado

Se puede fijar cualquier valor numérico en la unidad de visualización para iniciar el conteo desde ese valor.



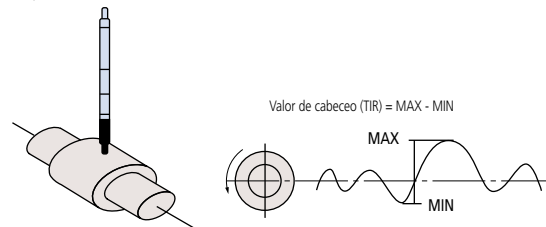
■ Cambio de dirección

Se puede fijar la dirección de medición del husillo del medidor tanto en más (+) como en menos (-) en el conteo.



■ Ajustes de MÁX, MÍN, TIR

La unidad de visualización puede mantener los valores máximo (MÁX) y mínimo (MÍN), y el valor MÁX - MÍN (TIR) durante la medición.



■ Ajuste de Tolerancia

Se pueden fijar los límites de tolerancia en diversas unidades de visualización para indicar automáticamente si una medición está dentro de esos límites.

■ Salida de Colector Abierto

Una carga externa, tal como un relevador o un circuito lógico, se pueden accionar desde la salida del colector de un transistor interno el cual está autocontrolado por un resultado de Criterio de Tolerancia, etc.

■ Salida de relé

Señal de contacto que saca el estado abierto/cerrado.

■ Código Digimatic

Un protocolo de comunicación para conectar la salida de las herramientas de medición con diversas unidades procesadoras de datos de Mitutoyo. Esto permite la conexión de salida a Miniprosesor Digimatic DP-1VR para realizar diversos cálculos estadísticos y crear histogramas, etc.

■ Salida BCD

Un sistema para sacar los datos en anotación decimal de código binario.

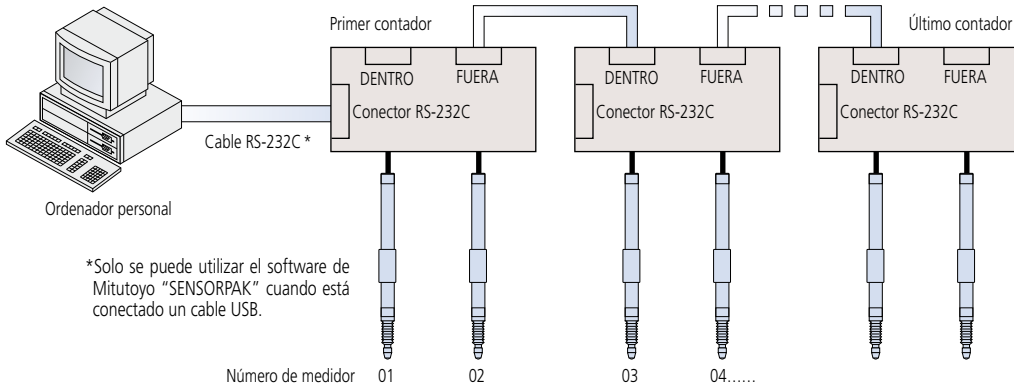
■ Salida RS-232C

Una interfaz de comunicación en serie en la que los datos se pueden transmitir bidireccionalmente bajo las Normas EIA. Para el procedimiento de transmisión, remítase a las especificaciones de cada instrumento de medición.

Función RS Link La medición multipuntos se puede realizar conectando contadores múltiples EH o EV con cables RS Link.

■ RS Link para Contador EH

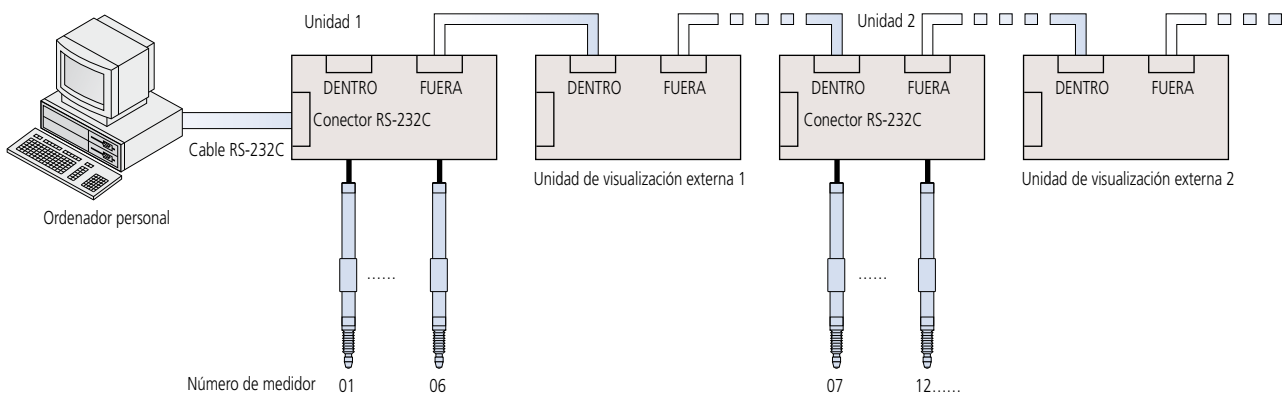
Se puede conectar un máximo de 10 contadores y manejar hasta 20 canales de mediciones múltipunto a la vez. Utilice, para esta conexión, un cable especial RS Link **N° 02ADD950** (0,5 m), **N° 936937** (1 m) ó **N° 965014** (2 m). (La longitud total de los cables of RS Link permitida para todo el sistema es de hasta 10 m)



■ RS Link para Contador EV

Se puede conectar un máximo de 10* contadores y manejar hasta 60 canales de mediciones múltipunto a la vez. Utilice, para esta conexión, un cable especial RS Link **N° 02ADD950** (0,5 m), **N° 936937** (1 m) ó **N° 965014** (2 m). (La longitud total de los cables of RS Link permitida para todo el sistema es de hasta 10 m)

* El número máximo de contadores que se puede conectar está limitado a 6 (seis) si se incluye un contador EH en la cadena.

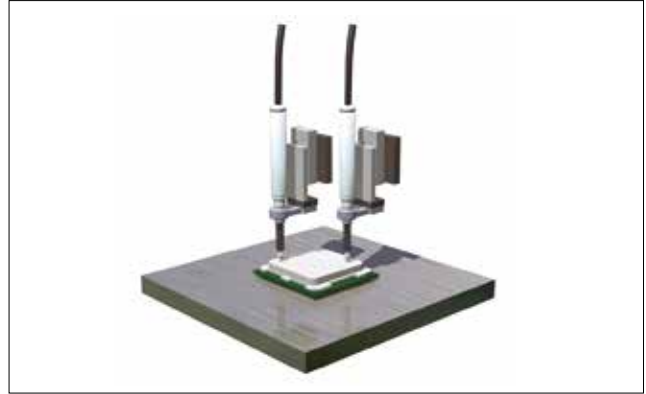


Ejemplos de Medición

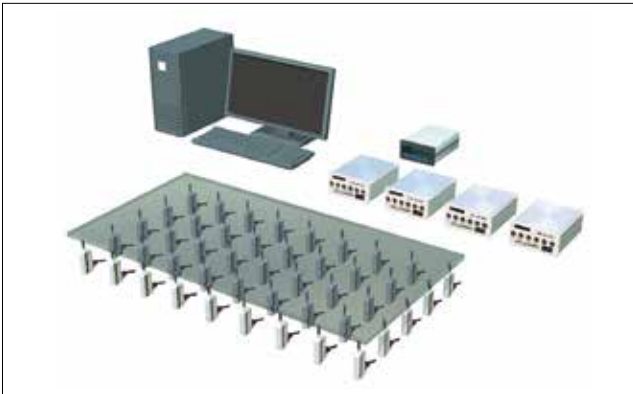
Medición del espacio entre rodillos



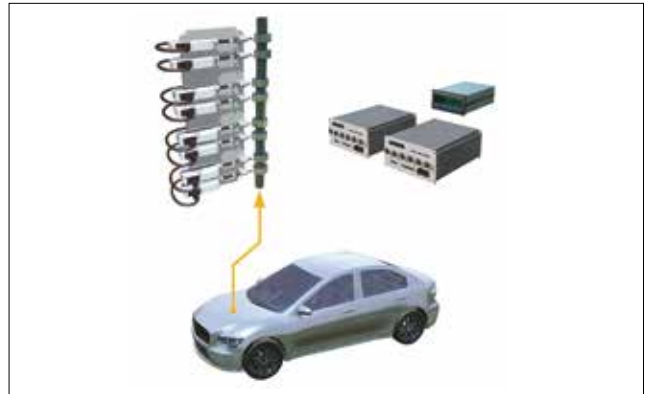
Medición del paralelismo de viruta



Medición multipunto de placa FPD



Medición de elevación de leva



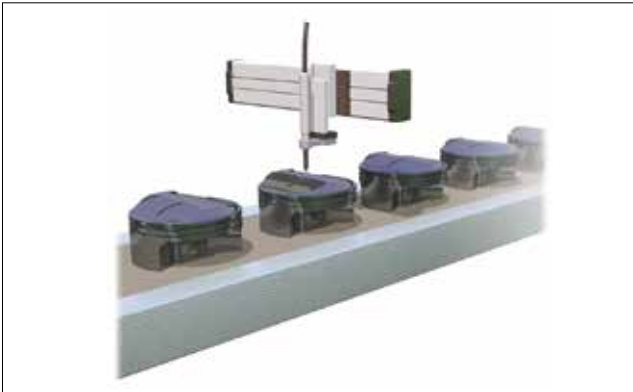
Medición multipunto del disco de freno



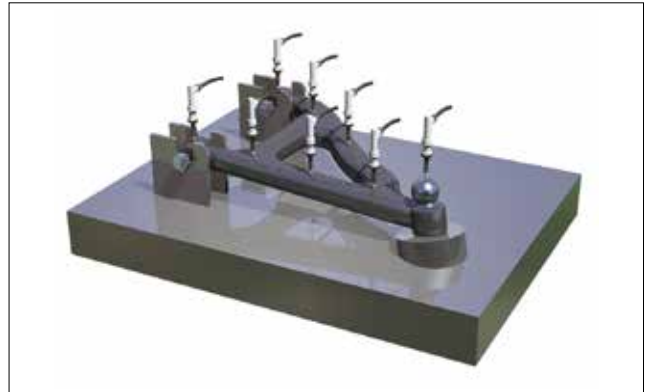
Medición de la longitud de la herramienta del dispositivo de la máquina



Discriminación de piezas



Accesorio de inspección



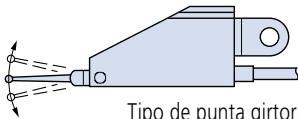
Micrómetros electrónicos

Palpador

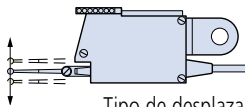
Un sensor que convierte el movimiento de un punto de contacto, en un palpador o émbolo, en una señal eléctrica.

Palpador de Palanca

Los palpadores de palanca están disponibles en dos tipos. El tipo más común usa una punta con pivote para que el punto de contacto se mueva en un arco circular; este tipo está sujeto al efecto coseno y, por lo tanto, las mediciones pueden requerir corrección de linealidad si la dirección de medición es muy diferente a la dirección de movimiento del punto de contacto. El tipo menos común utiliza un mecanismo de ballesta de traslación paralela, por lo que el movimiento del punto de contacto es lineal; este tipo no requiere corrección.



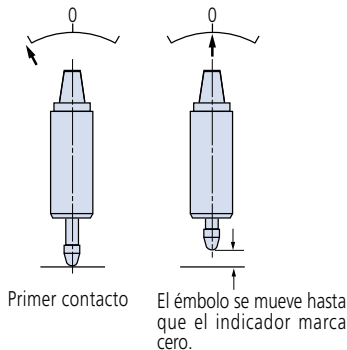
Tipo de punta giratoria
MLH-521 (la dirección de medición se puede cambiar con la palanca arriba / abajo)
MLH-522 (la dirección de medición no es conmutable)



Tipo de desplazamiento paralelo
MLH-326 (la dirección de medición se puede cambiar con el dial superior)

Pre-desplazamiento

La distancia desde el primer contacto con una pieza de trabajo hasta que el indicador de medición marca cero.



Primer contacto

El émbolo se mueve hasta que el indicador marca cero.

Fuerza de medición

La fuerza aplicada a la pieza de trabajo por la sonda cuando el indicador registra cero. Se indica en newtons (N).

Código Digimatic

Un protocolo de comunicación para conectar la salida de herramientas de medición con varias unidades de procesamiento de datos Mitutoyo. Esto permite la conexión de salida a un Mini Procesador Digimatic DP-1VA LOGGER para realizar varios cálculos estadísticos y crear histogramas, etc.

Salida de colector abierto

Una conexión directa al colector de un transistor de conducción.

Medida comparativa

Un método de medición donde la dimensión de una pieza de trabajo se encuentra midiendo la diferencia de tamaño entre la pieza de trabajo y un calibre maestro que representa la dimensión nominal. Este método se aplica generalmente cuando la medición a realizar es mayor que el rango de medición del instrumento.

Linealidad

La relación de proporcionalidad entre la salida del sistema de medición y la distancia medida.

Si esto no es constante dentro de los límites aceptables, entonces se requiere corrección.

0 (cero) punto

Un punto de referencia en el medidor maestro en una medición comparativa.

Sensibilidad

La relación entre la señal de salida del micrómetro eléctrico y la señal de entrada del amplificador. La sensibilidad es normal si se muestra un valor como el esperado del desplazamiento dado.

Ajuste de tolerancia

Los límites de tolerancia se pueden establecer en el micrómetro electrónico para proporcionar un juicio automático sobre si un valor medido se encuentra dentro de la tolerancia.



Compatibilidad

Su Micrómetro de Escanéo Láser se ha ajustado junto con la Unidad ID (de Identificación) que se suministra con el equipo de medición. La Unidad ID, que tiene el mismo número de código y el mismo número de serie que el equipo de medición, se debe instalar en el equipo de visualización. Esto significa que el equipo de medición se puede conectar a otro equipo de visualización instalando la unidad ID previamente.

La pieza de trabajo y condiciones de medición

Dependiendo de si el láser es visible o invisible, la forma de la pieza de trabajo y la rugosidad de la superficie, puede que se produzcan errores de medición. Si este es el caso, realice la calibración con una pieza de trabajo patrón que tenga las dimensiones, la forma y la rugosidad de la superficie similares a la pieza de trabajo real a medir.

Si la medición muestra un amplio grado de dispersión debido a las condiciones de medición, aumente el número de barridos (digitalizaciones) para mejorar la exactitud de la medición.

Interferencia eléctrica

Para evitar errores funcionales, no lleven el cable de señal y el cable del relé del Micrómetro de Escanéo Láser al lado de una línea de alta tensión ni de otro cable capaz de inducir ruido en los conductores próximos. Conecte a tierra todos los equipos y blindajes de cables.

Conexión a una computadora

Si el Micrómetro de Escanéo Láser se tiene que conectar a una computadora personal externa a través de la interfaz RS-232C, asegúrese de que las conexiones del cable están conforme con las especificaciones.

Seguridad del láser

Los Micrómetros de Escanéo Láser Mitutoyo utilizan un láser visible de poca potencia para la medición. El láser es un dispositivo CLASE 2 EN/IEC60825-1 (2007). Las etiquetas de advertencias y explicaciones están pegadas a los Micrómetros de Escanéo Láser tal como se indica.

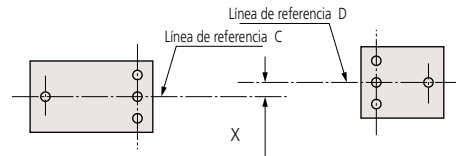


Re-ensamble tras retirarlo de la base

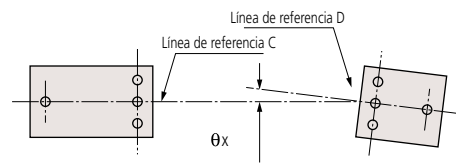
Observe las siguientes indicaciones cuando vuelva a ensamblar la unidad de emisión y la unidad de recepción para minimizar los errores de medición debidos a la desalineación del eje óptico del láser con la unidad de recepción.

Alineación dentro del plano horizontal

- a. Desviación paralela entre las líneas de referencia C y D: X (en la dirección transversal)

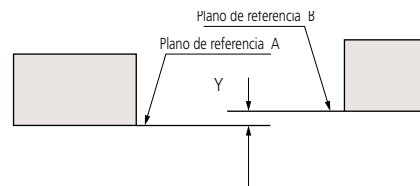


- b. Ángulo entre las líneas de referencia C y D: θ_x (ángulo)

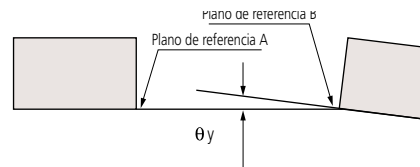


Alineación dentro del plano vertical

- c. Desviación paralela entre los planos de referencia A y B: Y (en altura)



- d. Ángulo entre los planos de referencia A y B: θ_y (ángulo)

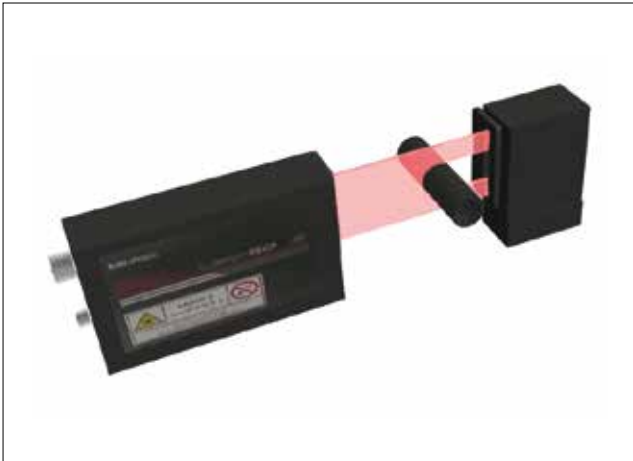


Límites admisibles de desalineación del eje óptico

Modelo	Distancia entre Unidad de Emisión y Unidad de Recepción	X e Y	θ_x y θ_y
LSM-501S	68mm (2.68") o menos	en 0.5mm (.02")	en 0.4° (7mrad)
	100mm (3.94") o menos	en 0.5mm (.02")	en 0.3° (5.2mrad)
LSM-503S	130mm (5.12") o menos	en 1mm (.04")	en 0.4° (7mrad)
	350mm (13.78") o menos	en 1mm (.04")	en 0.16° (2.8mrad)
LSM-506S	273mm (10.75") o menos	en 1mm (.04")	en 0.2° (3.5mrad)
	700mm (27.56") o menos	en 1mm (.04")	en 0.08° (1.4mrad)
LSM-512S	321mm (12.64") o menos	en 1mm (.04")	en 0.18° (3.6mrad)
	700mm (27.56") o menos	en 1mm (.04")	en 0.08° (1.4mrad)
LSM-516S	800mm (31.50") o menos	en 1mm (.04")	en 0.09° (1.6mrad)

Ejemplos de medición

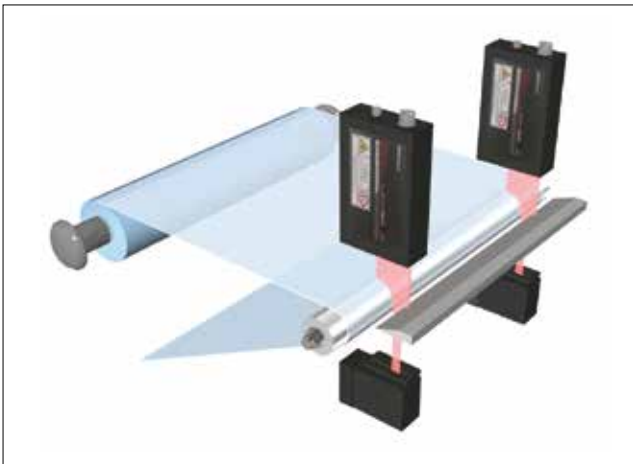
Medición del diámetro exterior del rodillo de goma.



Medición simultánea del diámetro exterior y la deflexión del rodillo.



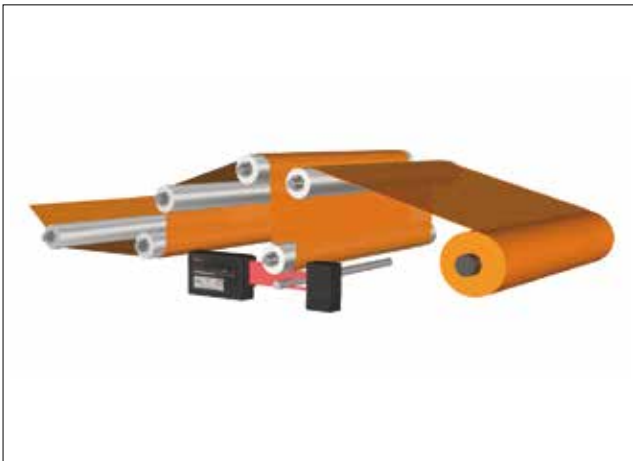
Medición de espesores desiguales de película u hoja (medición simultánea).



Medida del espacio entre rodillos.



Medición del espesor de la lámina de película.



Sistema dual para medir un gran diámetro exterior.

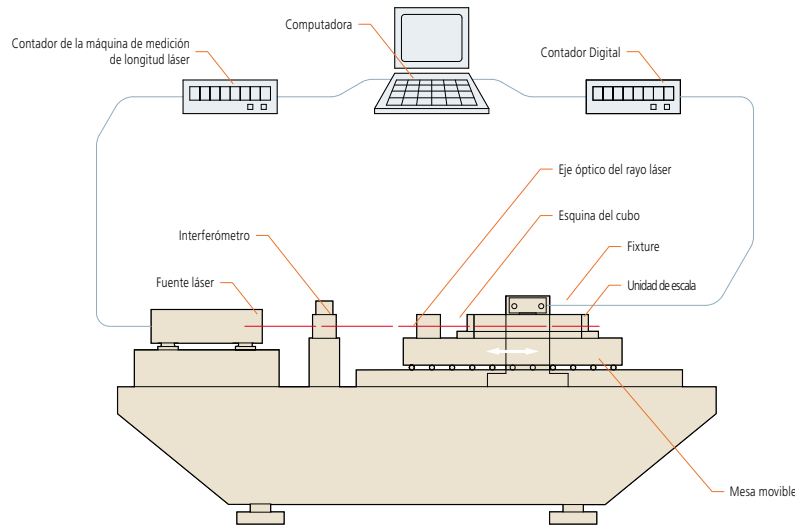




Especificar la exactitud de la escala lineal

Exactitud de indicación posicional

La exactitud de una escala lineal se determina comparando el valor posicional indicado por la escala lineal con el valor correspondiente de una máquina de medición de longitud por láser a intervalos regulares utilizando el sistema de inspección de exactitud como se muestra en la siguiente figura. Como la temperatura del entorno de inspección es de 20 ° C, la exactitud de la escala se aplica solo en un entorno a esta temperatura. Se pueden usar otras temperaturas de inspección para cumplir con los estándares internos.



La exactitud de la escala en cada punto se define en términos de un valor de error que se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Error} = \text{Valor indicado por la máquina de medición de longitud láser} - \text{Valor correspondiente indicado por la escala lineal}$$

Un gráfico en el que se traza el error en cada punto del intervalo de posicionamiento efectivo se llama diagrama de exactitud. Hay dos métodos que se utilizan para especificar la exactitud de una escala, desequilibrada o equilibrada, que se describen a continuación.

(1) Especificación de precisión desequilibrada: error máximo menos mínimo

Este método simplemente especifica el error máximo menos el error mínimo del gráfico de precisión, como se muestra a continuación. Es de la forma : $E = (\alpha + \beta L)\mu\text{m}$. L es el rango efectivo (mm), α y β son factores especificados para cada modelo.

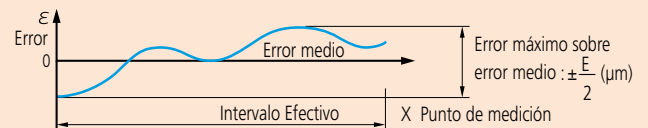
Por ejemplo, si un tipo particular de báscula tiene una especificación de exactitud

$$\text{de } (3 + \frac{3L}{1000}) \mu\text{m} \text{ y un intervalo efectivo de } 1000 \text{ mm, } E \text{ es } 6 \mu\text{m}.$$



(2) Especificación de exactitud equilibrada - más/menos sobre el error medio

Este método especifica el error máximo relativo al error medio del gráfico de exactitud. Es de la forma: $e = \pm \frac{E}{2} (\mu\text{m})$. Esto se utiliza principalmente en especificaciones de unidades de escala retrofit



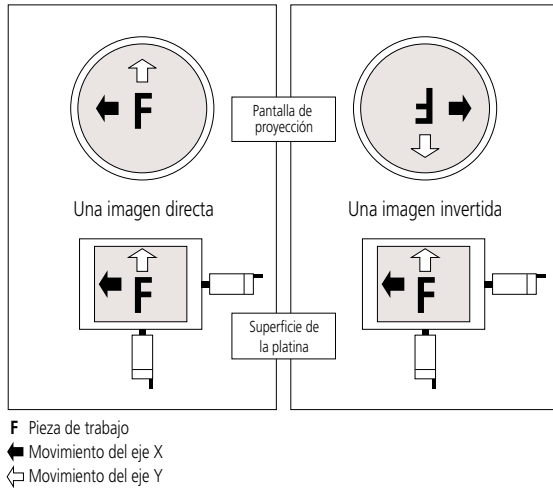
Una escala lineal detecta el desplazamiento según las graduaciones de paso constante. Las señales sinusoidales bifásicas con el mismo tono que las graduaciones se obtienen detectando las graduaciones. La interpolación de estas señales en el circuito eléctrico permite leer un valor menor que las graduaciones generando señales de pulso que corresponden a la resolución deseada. Por ejemplo, si el paso de graduación es de 20 μm, los valores interpolados pueden generar una resolución de 1 μm.

La precisión de este procesamiento no está libre de errores y se denomina precisión de interpolación. La especificación de precisión posicional general de la escala lineal depende tanto del error de tono de las graduaciones como de la precisión de interpolación.



Imagen Erecta e Imagen Invertida

Una imagen de un objeto proyectado sobre una pantalla es erecta si está orientada de la misma forma que el objeto en la platina. Si la imagen está invertida de arriba a abajo, de izquierda a derecha y por el movimiento con respecto al objeto en la platina (tal como se muestra en la figura de abajo) se le refiere como una imagen invertida (también conocida como imagen revertida, lo que es probablemente más exacto).



Exactitud del Aumento

La exactitud del aumento de un proyector cuando se utiliza una cierta lente se establece proyectando una imagen de un objeto de referencia y comparando el tamaño de la imagen de este objeto, tal como se mide en la pantalla, con el tamaño esperado (calculado a partir del aumento de la lente, según se haya marcado) para producir una cifra de porcentaje de exactitud de aumento, tal como se ilustra abajo. El objeto de referencia está a menudo en forma de una escala de vidrio pequeña, graduada denominada 'micrómetro de platina' o 'escala patrón', y la imagen proyectada de éste se mide con una escala de vidrio más grande conocida como 'escala de lectura'. (Tenga en cuenta que la exactitud de aumento no es la misma que la exactitud de medición).

$$\Delta M(\%) = \frac{L - \ell M}{\ell M} \times 100$$

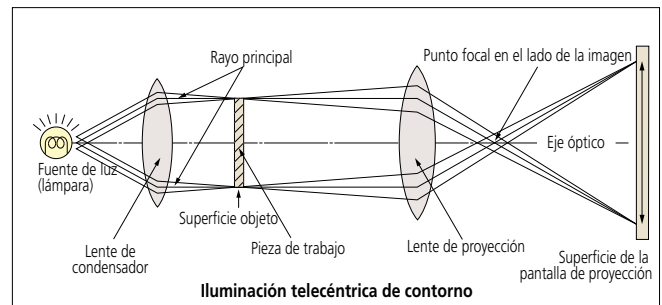
- $\Delta M(\%)$: Exactitud de aumento expresada como porcentaje del aumento nominal de la lente
- L: Longitud de la imagen proyectada del objeto de referencia medida en la pantalla
- ℓ : Longitud del objeto de referencia
- M: Aumento de la lente de proyección

Tipo de Iluminación

- Iluminación de contorno: Un método de iluminación para observar una pieza de trabajo por la luz transmitida y se utiliza principalmente para medir la imagen del contorno aumentada de una pieza de trabajo.
- Iluminación coaxial de la superficie: Un método de iluminación mediante el cual se ilumina una pieza de trabajo por la luz transmitida coaxialmente a la lente para la observación / medición de la superficie. (Se necesita un semiespejo o una lente de proyección con un semiespejo incorporado).
- Iluminación oblicua de la superficie: Un método de iluminación iluminando oblicuamente la superficie de la pieza de trabajo. Este método proporciona una imagen del contraste aumentado, permitiendo que se observe en tres dimensiones y de forma clara. Sin embargo, tenga en cuenta que puede que se produzca un error en la medición dimensional con este método de iluminación. (Se requiere un espejo oblicuo. Los modelos de la serie PJ-H30 se suministran con un espejo oblicuo).

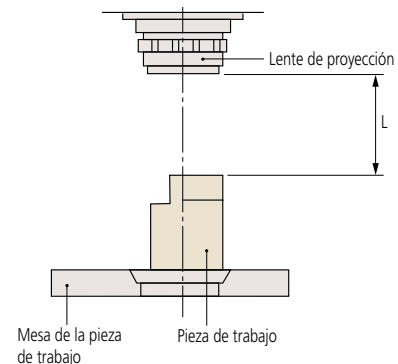
Sistema Óptico Telecéntrico

Un sistema óptico que se basa en el principio de que el rayo principal está alineado paralelo al eje óptico colocando un tope de lente en el punto focal en el lado de la imagen. Su característica funcional es que la imagen no variará de tamaño aunque la imagen se ponga borrosa cuando se desplaza el objeto a lo largo del eje óptico. Para los proyectores de medición y los microscopios de medición, se obtiene un efecto idéntico colocando un filamento de lámpara en el punto focal de una lente de condensador en lugar de un tope de lente de tal forma que el objeto se ilumina con haces paralelos. (Ver la figura de abajo).



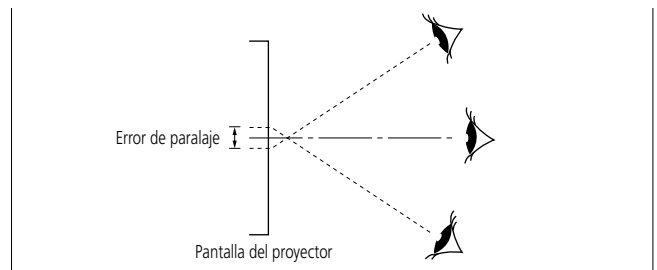
Distancia de trabajo

Se refiere a la distancia desde la cara de la lente de proyección a la superficie de una pieza de trabajo en el foco. Se representa por medio de L en el diagrama de abajo.



Error de paralaje

Esto es el desplazamiento de un objeto contra un campo fijo de fondo causado por un cambio en la posición del observador y una separación finita del objeto y los planos del campo de fondo.



Diámetro del campo de visión

El diámetro máximo de la pieza de trabajo que se puede proyectar utilizando una lente en particular.

$$\text{Diámetro del campo de visión (mm)} = \frac{\text{Diámetro de pantalla del proyector de perfiles}}{\text{Aumento de la lente de proyección utilizada}}$$

Ejemplo: Si una lente de aumento de 5X se utiliza para un proyector con una pantalla de $\varnothing 500$ mm:

$$\text{El campo del diámetro de visión se da por } \frac{500 \text{ mm}}{5} = 100 \text{ mm}$$



Microscopios

■ Apertura Numérica (NA)

La figura de NA es importante porque indica el poder de resolución de un lente objetivo. Cuanto mayor sea el valor de NA más fino será el detalle que se pueda ver. Una lente con un NA mayor recoge también más luz y proporcionará normalmente una imagen más brillante con una profundidad más estrecha del foco que una con un valor de NA más pequeño.

$$NA = n \cdot \sin\theta$$

La fórmula de arriba muestra que la NA depende de n , el índice de refracción del medio que existe entre la parte delantera de un objetivo y la probeta (para el aire, $n=1.0$), y el ángulo θ , que es el semiángulo del cono máximo de luz que puede entrar en la lente.

■ Poder de Resolución (R)

La distancia mínima detectable entre dos puntos de imagen, que representa el límite de la resolución. El poder de resolución (R) se determina por la apertura numérica (NA) y la longitud de onda (λ) de la iluminación.

$$R = \frac{\lambda}{2 \cdot NA} \text{ (}\mu\text{m)}$$

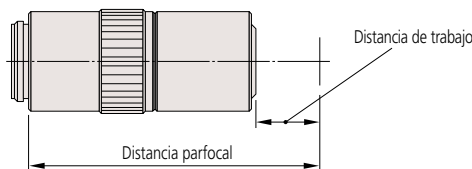
$\lambda = 0.55\mu\text{m}$ se usa a menudo como longitud de onda de referencia.

■ Distancia de Trabajo (W.D.)

La distancia entre el extremo frontal de un objetivo del microscopio y la superficie de la pieza de trabajo en la que se obtiene el enfoque más nítido.

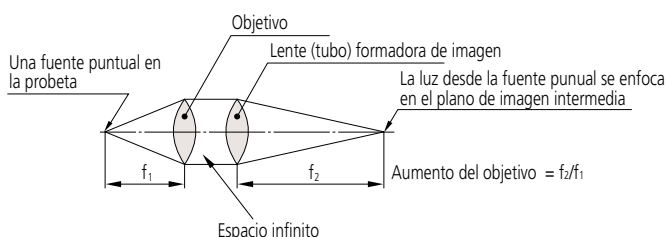
■ Distancia Parfocal

La distancia entre la posición de montaje de un objetivo del microscopio y la superficie de la pieza de trabajo en la que se obtiene el enfoque más nítido. Las lentes de objetivo montadas juntas en el mismo cabezal portaobjetivos deberían tener la misma distancia parfocal de tal forma que cuando se use otro objetivo la cantidad de reenfoque necesitada sea la mínima.



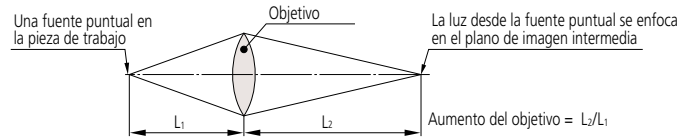
■ Sistema Óptico Infinito

Un sistema óptico en el que el objetivo forma su imagen en el infinito y una lente de tubo está colocada dentro del tubo del cuerpo entre el objetivo y el ocular para producir la imagen intermedia. Después de pasar a través del objetivo, la luz viaja efectivamente paralela al eje óptico a la lente del tubo a través de lo que se denomina el 'espacio infinito' dentro del cual se pueden colocar componentes auxiliares, tales como prismas de contraste de interferencia diferencial (DIC), polarizadores, etc., con efecto mínimo en el foco y las correcciones aberracionales.



■ Sistema Óptico Finito

Un sistema óptico que utiliza un objetivo para formar la imagen intermedia en una posición finita. La luz de la pieza de trabajo que pasa a través de los objetivos se dirige hacia el plano de la imagen intermedia (ubicado en el plano focal delantero del ocular) y converge en ese plano.



■ Longitud Focal (f)

unidad: mm

La distancia desde el punto principal al punto focal de una lente: si f_1 representa la longitud focal de un objetivo y f_2 representa la longitud focal de una lente (tubo) que forma imagen, entonces el aumento se determina por la relación entre las dos. (En el caso del sistema óptico de corrección infinita).

$$\text{Aumento del objetivo} = \frac{\text{Longitud focal de la lente (tubo) que forma imagen}}{\text{Longitud focal del objetivo}}$$

Ejemplo: $1X = \frac{200}{200}$ Ejemplo: $10X = \frac{200}{20}$

■ Punto Focal

Los rayos de luz que se desplazan paralelos al eje óptico de un sistema de lente convergente y que pasan a través de ese sistema convergerán (o enfocarán) a un punto en el eje conocido como el punto focal posterior, o punto focal de la imagen.

■ Profundidad de Foco (DOF)

unidad: mm

También conocida como 'profundidad de campo', esta es la distancia (medida en la dirección del eje óptico) entre dos planos que definen los límites de la nitidez aceptable de la imagen cuando se enfoca el microscopio sobre un objeto. Según aumenta la apertura numérica (NA), la profundidad del foco se vuelve menos profunda, tal como se muestra por medio de la expresión de debajo:

$$DOF = \frac{\lambda}{2 \cdot (NA)^2} \quad \lambda = 0.55\mu\text{m} \text{ se utiliza a menudo como la longitud de onda de referencia}$$

Ejemplo: Para una lente **M Plan Apo 100X (NA = 0.7)**

La profundidad del foco de este objetivo es

$$\frac{0.55\mu\text{m}}{2 \times 0.7^2} = 0.6\mu\text{m}$$

■ Iluminación de Campo Claro e Iluminación de Campo Oscuro

En la iluminación de campo claro el objetivo enfoca un cono completo de luz sobre la superficie de la probeta. Este es el modo normal de visión con un microscopio óptico. Con iluminación de campo oscuro, la zona interior del cono de luz se bloquea de tal forma que la superficie se ilumina solamente por la luz desde un ángulo oblicuo. La iluminación de campo oscuro es buena para detectar rayas y contaminación en las superficies.

■ Objetivo Apocromático y Objetivo Acromático

Un objetivo apocromático es una lente corregida para aberración cromática (color borroso) en tres colores (rojo, azul, amarillo).

Un objetivo acromático es una lente corregida para aberración cromática en dos colores (rojo, azul).

■ Aumento

La relación del tamaño de una imagen de objeto aumentada creada por un sistema óptico con el del objeto. El aumento se refiere comúnmente al aumento lateral aunque puede significar aumento lateral, vertical o angular.

■ Rayo Principal

Un rayo que se considera que se emite desde un punto del objeto fuera del eje óptico y que pasa a través del centro de un diafragma de apertura en un sistema de lentes.

■ Diafragma de Apertura

Una apertura circular regulable que controla la cantidad de luz que pasa a través de un sistema de lentes. También se le refiere como un tope de apertura y su tamaño afecta al brillo de la imagen y a la profundidad del foco.

■ Tope de Campo

Un tope que controla el campo de visión en un aparato óptico.

■ Sistema Telecéntrico

Un sistema óptico donde los rayos de luz están paralelos al eje óptico en el espacio del objeto y/o de la imagen. Esto significa que el aumento es casi constante sobre un rango de distancias de trabajo, por lo tanto, casi eliminando el error de perspectiva.

■ Imagen Recta

Una imagen en la que las orientaciones de la izquierda, derecha, superior, inferior y las direcciones de movimiento son las mismas que las de una pieza de trabajo en la mesa de trabajo.

■ Campo numérico (FN), campo real de visión y aumento de visualización en el monitor unidad: mm

El intervalo de observación de la superficie de muestra se determina por el diámetro del tope de campo del ocular. Al valor de este diámetro en milímetros se le denomina campo numérico (FN). En cambio, el campo real de visión es el rango sobre la superficie de la pieza de trabajo cuando se observa y aumenta realmente con la lente objetivo.

El campo real de visión se puede calcular con la siguiente fórmula:

(1) El intervalo de la pieza de trabajo que se puede observar con el microscopio (diámetro)

$$\text{Campo real de visión} = \frac{\text{FN del ocular}}{\text{Aumento de la lente objetivo}}$$

Ejemplo: Campo real de visión de lente 1X es $24 = \frac{24}{1}$
Campo real de visión de lente 10X es $2.4 = \frac{24}{10}$

(2) Intervalo de observación en el monitor

$$\text{Intervalo de observación en monitor} = \frac{\text{Tamaño de sensor de imagen de la cámara (longitud diagonal)}}{\text{Aumento de la lente objetivo}}$$

● Tamaño del sensor de la imagen

Formato	Longitud diagonal	Longitud	Altura
0,847 cm / 1/3"	6.0	4.8	3.6
1,270 cm / 1/2"	8.0	6.4	4.8
1,693 cm / 2/3"	11.0	8.8	6.6

(3) Aumento de visualización del monitor

Aumento de visualización en el monitor =

$$\text{Aumento de la lente objetivo} \times \frac{\text{Longitud diagonal de visualización en el monitor}}{\text{Longitud diagonal del sensor de imagen de la cámara}}$$





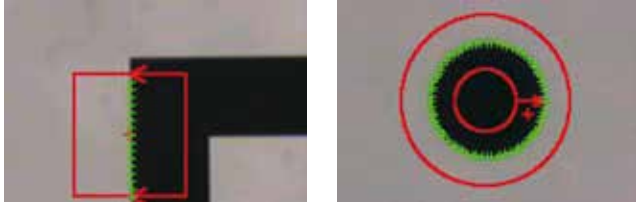
Máquinas de Medición por Visión

Medición por Visión

Las máquinas de medición por visión proporcionan principalmente las siguientes capacidades de procesado.

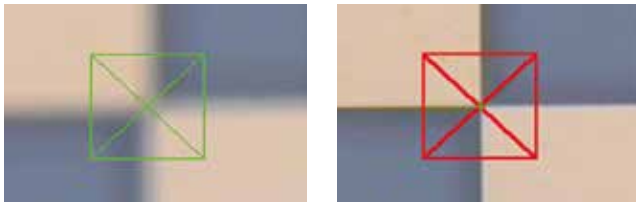
Detección de borde

Detectan/miden los bordes en el plano XY



Autoenfoco

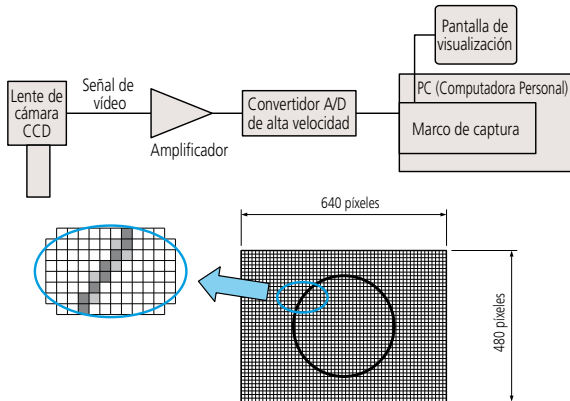
Enfoque y medición de Z



Reconocimiento del patrón

Alineación, posicionamiento y comprobación de un elemento

Almacenamiento de Imagen

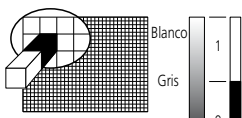


Una imagen consiste en una retícula (distribución) regular de pixeles. Es justo como una figura en papel de trazado fino con cada cuadrado relleno de forma compacta diferentemente.

Escala de Grises

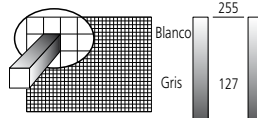
Un PC almacena una imagen después de convertirla internamente en valores numéricos. Se asigna un valor numérico a cada pixel de una imagen. La calidad de la imagen varía dependiendo de cuántos niveles de la escala de grises se definen por los valores numéricos. El PC proporciona dos tipos de escala de grises: dos niveles y niveles múltiples. Los pixeles de una imagen se muestran normalmente como una escala de 256 niveles de grises.

Escala de grises de 2 niveles



Los pixeles en una imagen más brillante que un nivel dado se muestran como blanco y todos los otros pixeles se muestran como negro.

Escala de grises de niveles múltiples



Cada pixel se muestra como uno de los 256 niveles entre negro y blanco. Esto permite que se muestren imágenes de alta calidad.

Diferencia en la Calidad de la Imagen

Diferencia entre imágenes de 2 niveles y 256 niveles de escala de grises.



Imagen de muestra visualizada con escala de grises de 2 niveles

Imagen de muestra visualizada con escala de grises de 256 niveles

Variación en la Imagen Dependiendo del Nivel de Umbral

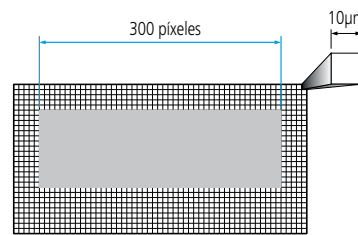


Estas tres fotografías son la misma imagen mostrada como un escala de grises de 2 niveles a diferentes niveles de corte (niveles de umbral). En una imagen con escala de grises de 2 niveles, se proporcionan imágenes diferentes tal como se muestra arriba debido a una diferencia en el nivel de corte. Por lo tanto, la escala de grises de 2 niveles no se utiliza para la medición por visión de alta precisión ya que los valores numéricos cambiarán dependiendo del nivel de umbral que se fije.

Medición Dimensional

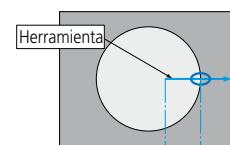
Una imagen se compone de pixeles. Si el número de pixeles a medir en una sección se cuenta y se multiplica por el tamaño de un pixel, entonces la sección se puede convertir a un valor numérico en longitud. Por ejemplo, se asume que el número total de pixeles en el tamaño lateral de una pieza de trabajo cuadrada es de 300 pixeles tal como se muestra en la figura de abajo.

Si el tamaño de un pixel es de 10µm bajo el aumento de la imagen, la longitud total de la pieza de trabajo se da por 10µm x 300 pixeles = 3000µm = 3mm.



Detección del Borde

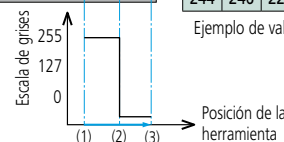
La forma de detectar realmente un borde de una pieza de trabajo en una imagen se describe utilizando el siguiente dibujo monocromo como ejemplo. La detección del borde se realiza dentro de un dominio dado. A un símbolo que define este dominio se le refiere como herramienta. Se proporcionan herramientas múltiples para adecuarse a diversas geometrías de piezas de trabajo o datos de medición.



El sistema de detección del borde digitaliza dentro de la zona de la herramienta tal como se muestra en la figura de la izquierda y detecta el limite entre la luz y la sombra.

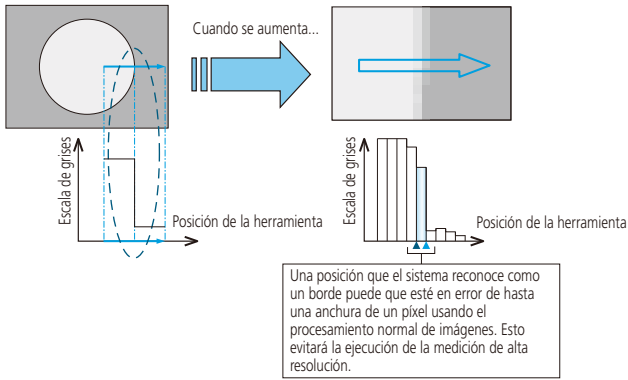
244	241	220	193	97	76	67	52	53	53
243	242	220	195	94	73	66	54	53	55
244	246	220	195	94	75	64	56	51	50

Ejemplo de valores numéricos asignados a los pixeles en la herramienta



- (1) Posición de inicio de digitalizado
- (2) Posición de detección del borde
- (3) Posición final de digitalizado

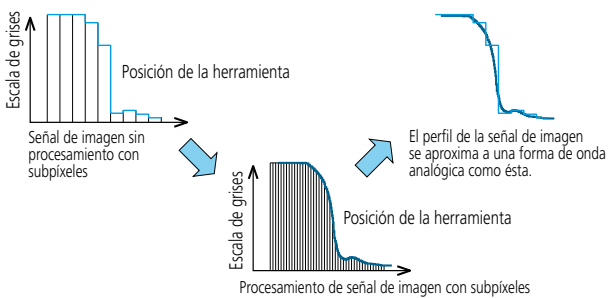
Medición de Alta Resolución



Para aumentar la exactitud en la detección del borde se utiliza un procesamiento de imagen con subpíxeles.

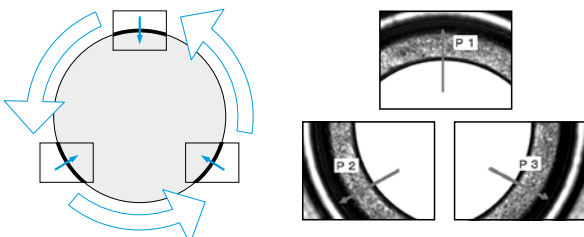
Un borde se detecta determinando la curva de interpolación desde datos de píxeles adyacentes tal como se muestra debajo.

Como resultado, permite la medición con una resolución mayor de 1 píxel.

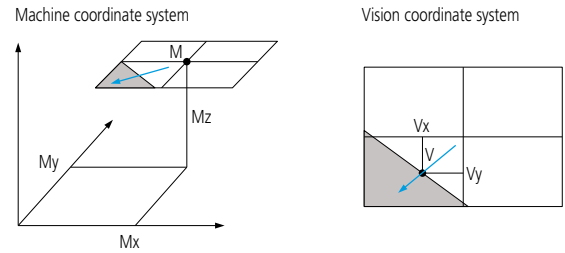


Medición a lo largo de Múltiples Porciones de una Imagen

Los elementos grandes que no pueden caber en una pantalla se tienen que medir controlando exactamente la posición del sensor CCD y mesa para ubicar cada punto de referencia dentro de imágenes individuales. Por medio de esto, el sistema puede medir incluso un círculo grande, tal como se muestra abajo, detectando el borde mientras se mueve la mesa a través de diversas partes de la periferia.



Coordenadas Compuestas de un Punto



Posición de la mesa de la máquina de medición
 $M = (M_x, M_y, M_z)$

Posición de borde detectado (desde el centro de visión)
 $V = (V_x, V_y)$

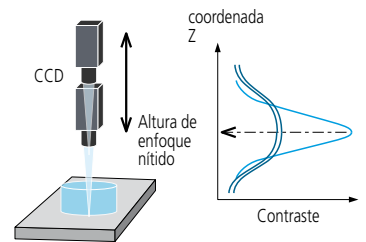
Las coordenadas reales se dan por $X = (M_x + V_x)$, $Y = (M_y + V_y)$, y $Z = M_z$, respectivamente.

Dado que la medición se realiza mientras se guardan las posiciones individuales medidas, el sistema puede medir sin problemas dimensiones que no se pueden incluir en una pantalla.

Principio de Autoenfoco

El sistema puede realizar la medición en el plano XY, pero no puede realizar la medición de altura utilizando sólo la imagen de la cámara CCD. El sistema está provisto comúnmente del mecanismo de Autoenfoco (AF) para medir alturas. A continuación se explica el mecanismo AF que utiliza una imagen común, aunque algunos sistemas pueden usar un láser AF.

El sistema AF analiza una imagen mientras la CCD se mueve arriba y abajo en el eje Z. En el análisis de contraste de la imagen, una imagen con enfoque nítido mostrará un contraste máximo y una fuera de enfoque mostrará un contraste pobre. Por lo tanto, la altura a la que se da el contraste máximo es la altura de mejor enfoque.



Variación en el Contraste Dependiendo de la Condición de Enfoque

El contraste del borde es pobre porque los bordes están fuera de enfoque

El contraste del borde es alto porque los bordes son nítidos, dentro de enfoque





Medidor de Rugosidad Superficial (Surftest)

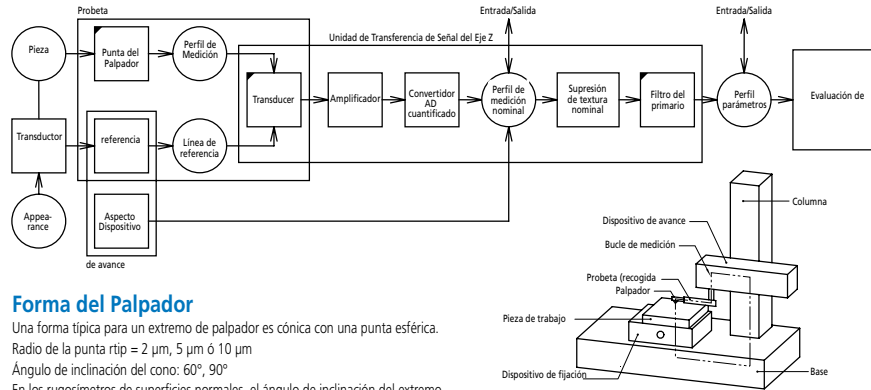
■ ISO 1302: 2002 Método de notación de la calidad superficial

■ ISO 4287: 1997 Especificación Geométrica de Productos (GPS) – Calidad Superficial: Método del perfil

■ ISO 4288: 1996 Especificación Geométrica de Productos ((GPS) – Calidad Superficial: Método del perfil

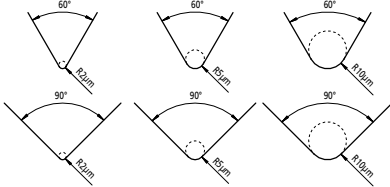
■ ISO 3274: 1996 Especificación Geométrica de Productos ((GPS) – Calidad Superficial: Método del perfil

Características nominales de los aparatos de contacto (palpador)



Forma del Palpador

Una forma típica para un extremo de palpador es cónica con una punta esférica.
 Radio de la punta $r_{tip} = 2 \mu\text{m}, 5 \mu\text{m} \text{ ó } 10 \mu\text{m}$
 Ángulo de inclinación del cono: $60^\circ, 90^\circ$
 En los rugosímetros de superficies normales, el ángulo de inclinación del extremo del palpador es 60° . Salvo que se especifique de otra manera.



Fuerza de Medición Estática

Radio de curvatura nominal de la punta del palpador; μm	Fuerza de medición estática en la posición media del palpador; mN	Tolerancia en las variaciones de fuerza de medición estática; mN/ μm
2	0.75	0.035
5	0.75 (4.0) Nota 1	0.2
10		

Nota 1: El valor máximo de la fuerza de medición estática en la posición media de un palpador tiene que ser 4.0mN para una probeta estructurada especial incluyendo un palpador sustitible.

Relación entre el Valor de Corte y el Radio de la Punta del Palpador

La siguiente tabla lista la relación entre el valor de corte del perfil de rugosidad λ_c , el radio de la punta del palpador r_{tip} , y la relación de corte λ_c/λ_s .

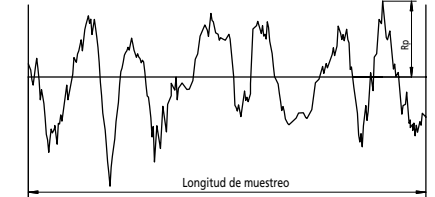
λ_c mm	λ_s μm	λ_c/λ_s	Maximum r_{tip} μm	Maximum Longitud de muestreo mm
0.08	2.5	30	2	0.5
0.25	2.5	100	2	0.5
0.8	2.5	300	2 Nota 1	0.5
2.5	8	300	5 Nota 2	1.5
8	25	300	10 Nota 2	5

Nota 1: Para una superficie con $Ra > 0.5 \mu\text{m}$ o $Rz > 3 \mu\text{m}$, no se producirá normalmente un error importante en una medición incluso si $r_{tip} = 5 \mu\text{m}$.
 Nota 2: Si un valor de corte λ_c es $2.5 \mu\text{m}$ ó $8 \mu\text{m}$, la atenuación de la señal debida al efecto de filtrado mecánico de un palpador con el radio de la punta recomendado aparece fuera de la banda de paso del perfil de rugosidad. Por lo tanto, un error pequeño en el radio o la forma de la punta del palpador no afecta a los valores de parámetros calculados de las mediciones. En el caso de que se requiera una relación de corte específica, se debe definir la relación.

Definición de los Parámetros ISO 4287: 1997

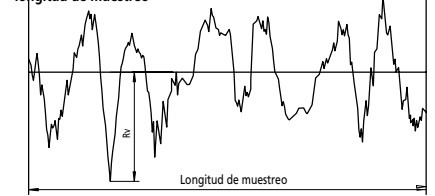
Parámetros de Amplitud (pico y valle)

Altura máxima del pico del perfil primario P_p
 Altura máxima del pico del perfil de rugosidad R_p
 Altura máxima del pico del perfil de ondulación W_p
 Altura del pico del perfil más grande Z_p dentro de una longitud de muestreo



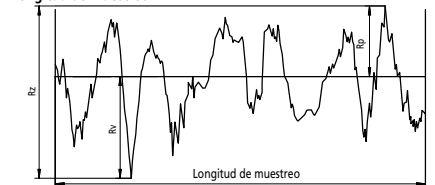
Profundidad máxima del valle del perfil primario P_v
 Profundidad máxima del valle del perfil de rugosidad R_v
 Profundidad máxima del valle del perfil de ondulación W_v

Profundidad del valle del perfil más grande Z_v dentro de una longitud de muestreo



Altura máxima del perfil primario P_z
 Altura máxima del perfil de rugosidad R_z
 Altura máxima del perfil de ondulación W_z

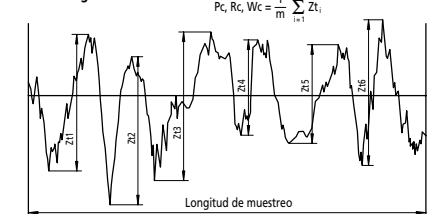
Suma de la altura de la altura del pico del perfil más grande Z_p y la profundidad del valle del perfil más grande Z_v dentro de una longitud de muestreo



⚠ En JIS antigua e ISO 4287-1: 1984, R_z se utilizó para indicar la "altura de diez puntos de irregularidades". Se debe tener cuidado porque las diferencias entre los resultados obtenidos de acuerdo con las normas existentes y las antiguas no son siempre insignificantes. (Asegurarse de comprobar si las instrucciones de los planos son conformes con las normas existentes o antiguas.)

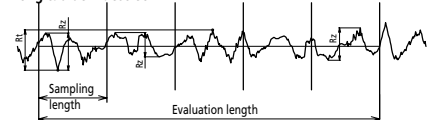
Altura media de los elementos del perfil primario P_c
 Altura media de los elementos del perfil de rugosidad R_c
 Altura media de los elementos del perfil de ondulación W_c

Valor medio de las alturas de los elementos de los perfiles Z_t dentro de una longitud de muestreo



Altura total del perfil primario P_t
 Altura total del perfil de rugosidad R_t
 Altura total del perfil de ondulación W_t

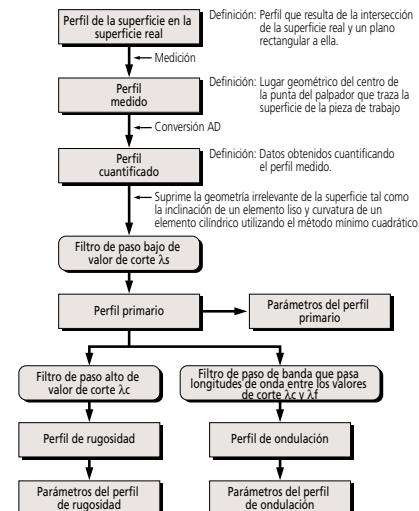
Suma de la altura de la altura del pico del perfil más grande Z_p y la profundidad del valle del perfil más grande Z_v dentro de una longitud de muestreo



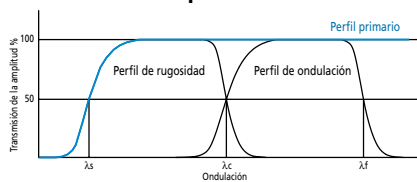
Caracterización Metroológica de los Filtros de Corrección de Fase

ISO 11562: 1996
 Un filtro de perfil es un filtro de corrección de fase sin retardo de fase (causa de la distorsión del perfil que depende de la longitud de onda). La función de ponderación de un filtro de corrección de fase muestra una distribución (Gaussiana) normal en la que la transmisión de la amplitud es del 50% en la longitud de onda de corte.

Diagrama de Flujo de Proceso de Datos

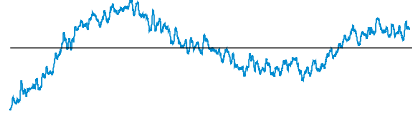


Perfiles de Superficie



Perfil Primario

Perfil obtenido del perfil medido aplicando un filtro de paso bajo con valor de corte de λ_s .



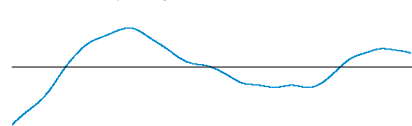
Perfil de Rugosidad

Perfil obtenido del perfil primario suprimiendo los componentes de longitud de onda más larga utilizando un filtro de paso alto de valor de corte de λ_c .



Perfil de Ondulación

Perfil obtenido aplicando un filtro de paso de banda al perfil primario para eliminar las longitudes de onda más largas por encima de λ_f y las longitudes de onda más cortas por debajo de λ_c .



- Términos, definiciones y parámetros del estado superficial
- Reglas y procedimientos para la evaluación del estado superficial
- Características nominales de los aparatos de contacto (palpador)

Parámetros de amplitud (promedio de las ordenadas)

Desviación media aritmética del perfil primario Pa
 Desviación media aritmética del perfil de rugosidad Ra
 Desviación media aritmética del perfil de ondulación Wa
 Media aritmética de los valores absolutos de las ordenadas Z(x) dentro de una longitud de muestreo

$$Pa, Ra, Wa = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

con l como lp, lr, o lw de acuerdo con el caso

Media cuadrática del perfil primario Pq
 Media cuadrática del perfil de rugosidad Rq
 Media cuadrática del perfil de ondulación Wq

El valor medio cuadrático de los valores de las ordenadas Z(x) dentro de una longitud de muestreo

$$Pq, Rq, Wq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$$

con l como lp, lr, o lw de acuerdo con el caso

Asimetría del perfil primario Psk
 Asimetría del perfil de rugosidad Rsk
 Asimetría del perfil de ondulación Wsk

Cociente del valor cúbico medio de los valores de las ordenadas Z(x) y el cubo de Pq, Rq o Wq respectivamente, dentro de una longitud de muestreo

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{l} \int_0^l Z^3(x) dx \right]$$

La ecuación anterior define Rsk. Psk y Wsk se definen de manera similar. Psk, Rsk y Wsk son medidas de la asimetría de la función de densidad de probabilidad de los valores de las ordenadas.

Curtosis del perfil primario Pku
 Curtosis del perfil de rugosidad Rku
 Curtosis del perfil de ondulación Wku

Cociente del valor cuártico medio de los valores de las ordenadas Z(x) y la cuarta potencia de Pq, Rq o Wq respectivamente, dentro de una longitud de muestreo

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{l} \int_0^l Z^4(x) dx \right]$$

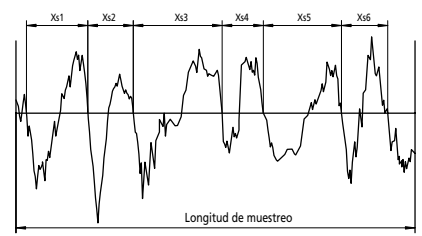
La ecuación anterior define Rku. Pku y Wku se definen de manera similar. Pku, Rku y Wku son medidas de la nitidez de la función de densidad de probabilidad de los valores de las ordenadas.

Parámetros de Espaciamento

Anchura media de los elementos de perfil primario PSm
 Anchura media de los elementos de perfil de rugosidad RSm
 Anchura media de los elementos de perfil de ondulación WSm

Valor medio de las anchuras de los elementos de los perfiles Xs dentro de una longitud de muestreo

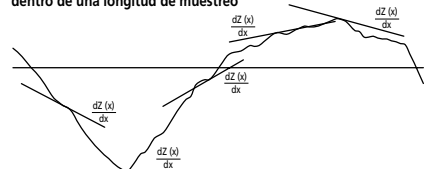
$$PSm, RSm, WSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si}$$



Parámetros Híbridos

Pendiente media cuadrática del perfil primario PΔq
 Pendiente media cuadrática del perfil de rugosidad RΔq
 Pendiente media cuadrática del perfil de ondulación WΔq

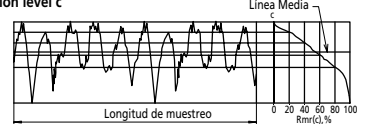
Valor medio cuadrático de las pendientes de las ordenadas dZ/dX dentro de una longitud de muestreo



Curvas, Función de Densidad de Probabilidad y Parámetros Relacionados

Curva de relación del material del perfil (curva de Abbott-Firestone)

Curve representing the material ratio of the profile as a function of section level c



Relación del material del perfil primario Pmr(c)
 Relación del material del perfil de rugosidad Rmr(c)
 Relación del material del perfil de ondulación Wmr(c)

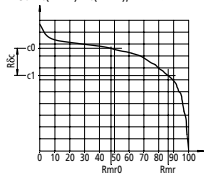
Relación de la longitud del material de los elementos del perfil MI(c) a un nivel c dado con la longitud de evaluación

$$Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) = \frac{MI(c)}{ln}$$

Diferencia de altura de sección del perfil primario PΔc
 Diferencia de altura de sección del perfil de rugosidad RΔc
 Diferencia de altura de sección del perfil de ondulación WΔc

Distancia vertical entre dos niveles de secciones de una Relación de material dada

$$RΔc = c(Rmr1) - c(Rmr2); Rmr1 < Rmr2$$



Relación del material relativa del perfil primario Pmr

Relación del material relativa del perfil de rugosidad Rmr

Relación del material relativa del perfil de ondulación Wmr

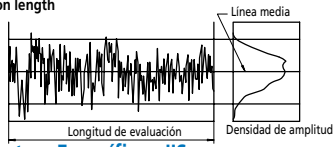
Relación del material determinada a un nivel de sección del perfil RΔc (o PΔc o WΔc), relacionada con el nivel de sección de referencia c0

$$Pmr, Rmr, Wmr = Pmr(c1), Rmr(c1), Wmr(c1)$$

where $c1 = c0 - RΔc(RΔc, WΔc)$
 $c0 = c(Pm0, Rmr0, Wmr0)$

Probability density function (profile height amplitude distribution curve)

Sample probability density function of the ordinate Z(x) within the evaluation length

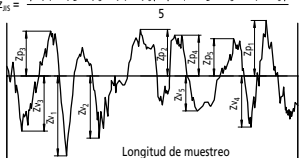


Parámetros Específicos JIS

Altura de diez puntos de irregularidades, RzJIS

Suma de la altura media absoluta de los cinco picos de perfiles más altos y la profundidad media absoluta de los cinco valles de perfiles más profundos, medidos desde la línea media dentro de la longitud de muestreo de un perfil de rugosidad. Este perfil se obtiene del perfil primario utilizando un filtro de paso de banda corrector de fase con valores de corte de λc y λs.

$$Rz_{JIS} = \frac{|Zp_1 + Zp_2 + Zp_3 + Zp_4 + Zp_5| + |Zv_1 + Zv_2 + Zv_3 + Zv_4 + Zv_5|}{5}$$



Símbolo	Perfil utilizado
RzJIS82	Perfil de superficie tal como queda medido
RzJIS94	Perfil de rugosidad derivado del perfil primario utilizando un filtro de paso alto corrector de fase

Desviación media aritmética del perfil RaJIS

Media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones del perfil desde la línea media dentro de la longitud de muestreo del perfil de rugosidad (75%). Este perfil se obtiene de un perfil de medición utilizando un filtro analógico de paso alto con un factor de atenuación de 12db de octava y un valor de corte de λc.

$$Ra_{JIS} = \frac{1}{ln} \int |Z(x)| dx$$

Longitud de Muestreo para Parámetros de Rugosidad de Superficie

Tabla 1: Longitudes de muestreo para parámetros de rugosidad de perfiles aperiódicos (Ra, Rq, Rsk, Rku, RΔq), curva de relación del material, función de densidad de probabilidad y parámetros relacionados.

Ra μm	Longitud de muestreo lr mm	Longitud de evaluación ln mm
(0.005) < Ra ≤ 0.02	0.08	0.4
0.02 < Ra ≤ 0.1	0.25	1.25
0.1 < Ra ≤ 2	0.8	4
2 < Ra ≤ 10	2.5	12.5
10 < Ra ≤ 80	8	40

Tabla 2: Longitudes de muestreo para parámetros de rugosidad de perfiles aperiódicos (Rz, Rv, Rp, Rc, Rt)

Rz Rz1max μm	Longitud de muestreo lr mm	Longitud de evaluación ln mm
(0.025) < Rz, Rz1max ≤ 0.1	0.08	0.4
0.1 < Rz, Rz1max ≤ 0.5	0.25	1.25
0.5 < Rz, Rz1max ≤ 10	0.8	4
10 < Rz, Rz1max ≤ 50	2.5	12.5
50 < Rz, Rz1max ≤ 200	8	40

1) Rz se utiliza para medición de Rz, Rv, Rp, Rc y Rt.
 2) Rz1max se utiliza solamente para medición de Rz1max, Rv1max, Rp1max y Rt1max.

Tabla 3: Longitudes de muestreo para medición de parámetros de rugosidad de perfiles de rugosidad periódicos y parámetro de perfil periódico o aperiódico Rsm.

Rsm mm	Longitud de muestreo lr mm	Longitud de evaluación ln mm
0.013 < Rsm ≤ 0.04	0.08	0.4
0.04 < Rsm ≤ 0.13	0.25	1.25
0.13 < Rsm ≤ 0.4	0.8	4
0.4 < Rsm ≤ 1.3	2.5	12.5
1.3 < Rsm ≤ 4	8	40

Procedimiento para determinar una longitud de muestreo si no está especificada

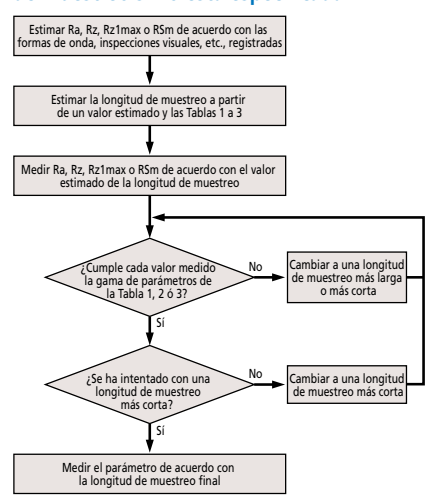


Fig.1 Procedimiento para determinar la longitud de muestreo de un perfil aperiódico si no está especificada.

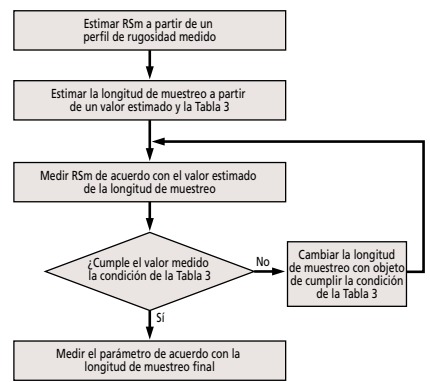
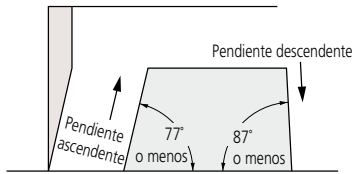


Fig.2 Procedimiento para determinar la longitud de muestreo de un perfil periódico si no está especificada.



Equipos de Medición de Contorno (Contracer)

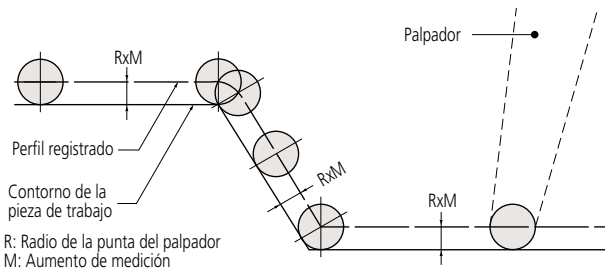
■ Ángulo Trazable



Al ángulo máximo al que un palpador puede trazar hacia arriba o hacia abajo a lo largo del contorno de una pieza de trabajo, en la dirección de desplazamiento del palpador, se refiere como el ángulo trazable. Un palpador angulado en un lado con un ángulo en la punta de 12° (como en la figura de arriba) puede trazar un máximo de 77° de pendiente ascendente y un máximo de 87° pendiente descendente. Para un palpador cónico (cono de 30°), el ángulo trazable es más pequeño. Una pendiente ascendente con un ángulo de 77° o menos en total puede realmente incluir un ángulo de más de 77° debido al efecto de la rugosidad de la superficie. La rugosidad de la superficie afecta también a la fuerza de medición. Para el modelo CV-3200/4500, el mismo tipo de palpador (SPH-71: palpador angulado en un lado con un ángulo en la punta de 12°) puede trazar un máximo de 77° de pendiente ascendente y un máximo de 83° pendiente descendente.

■ Compensación del Radio de la Punta del Palpador

Un perfil registrado representa el lugar geométrico del centro de la punta de la bola que rueda sobre la superficie de una pieza de trabajo. (Un radio típico es 0,025 mm.) Obviamente, esto no es lo mismo que el perfil verdadero de la superficie así que, con objeto de obtener un registro de perfil preciso, es necesario compensar el efecto del radio de la punta a través del procesamiento de datos.

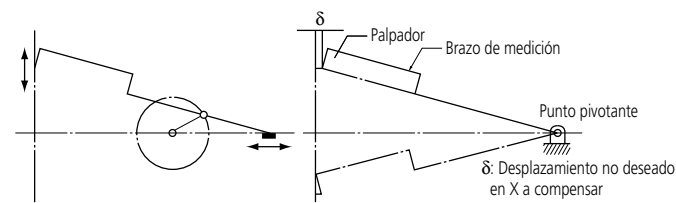


Si se lee un perfil desde el registrador a través de una plantilla o una escala, es necesario compensar con antelación el radio de la punta del palpador de acuerdo con el aumento de medición aplicado.

■ Compensación de la Rotación del Brazo

El palpador está colocado en un brazo pivotado de tal forma que rota según se traza la superficie y la punta de contacto no sigue únicamente en la dirección de Z. Por lo tanto, es necesario aplicar la compensación en la dirección X para asegurar la precisión. Hay tres métodos de compensar la rotación del brazo.

- 1: Compensación mecánica
- 2: Compensación eléctrica



3: Procesado con software. Para medir el contorno de una pieza que implique un gran desplazamiento en la dirección vertical con gran precisión, se necesita llevar a cabo uno de estos métodos de compensación.

■ Exactitud

Como los equipos de detectores de los ejes X y Z incorporan escalas, la exactitud de aumento no se muestra como porcentaje sino como la exactitud de desplazamiento lineal para cada eje.

■ Paro de Seguridad por Sobrecargas

Si se ejerce una fuerza excesiva (sobrecarga) en la punta del palpador debido, quizás, a que la punta encuentra una pendiente muy pronunciada en un elemento de una pieza de trabajo, o una rebaba, etc., un dispositivo de seguridad para automáticamente el funcionamiento y suena un zumbador de alarma. Este tipo de aparato está equipado comúnmente con dispositivos de seguridad individuales para la dirección de trazado (eje X) carga y dirección vertical (eje Y) carga.

Para el modelo CV-3200/4500, un dispositivo de seguridad funciona si el brazo sale del montaje del detector.

■ Guía Simple o Compleja del Brazo

En el caso de un brazo pivotado simple, el lugar geométrico que traza la punta del palpador durante el movimiento vertical (dirección Z) es un arco circular que resulta en una desviación indeseada en X, para el que se tiene que realizar la compensación. Cuanto mayor sea el movimiento del arco, mayor será el desplazamiento indeseado de X (δ) que se tiene que compensar. (Ver la figura, izquierda inferior). La alternativa es utilizar una disposición de mecanismo articulado mecánico complejo para obtener un lugar geométrico de traslación lineal en Z y, por lo tanto, evitar la necesidad de compensar en X.

■ Métodos de Medición del Eje Z

Aunque el método de medición del eje X adoptado comúnmente es por medio de una escala digital, la medición del eje Z se divide en métodos analógicos (utilizando un transformador diferencial, etc.) y métodos de escala digital.

Los métodos analógicos varían en la resolución del eje Z dependiendo del aumento de la medición y el rango de medición. Los métodos de escala digital tienen resolución fija.

Generalmente, un método de escala digital proporciona una mayor precisión que un método analógico.

■ Métodos de análisis de contornos

Puede analizar el contorno con uno de los siguientes dos métodos tras completar la operación de medición.

Sección de procesamiento de datos y programa de análisis

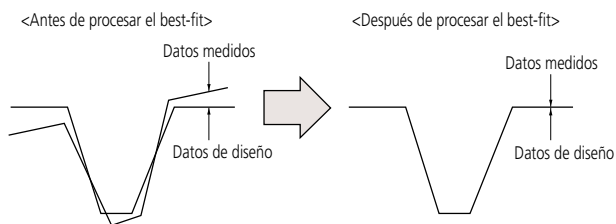
El contorno medido se introduce en la sección de procesamiento de datos en tiempo real y un programa especial realiza el análisis utilizando el ratón y/o el teclado. El ángulo, el radio, el escalonamiento, el paso y otros datos se visualizan directamente como valores numéricos. El análisis que combina los sistemas de coordenadas se puede realizar fácilmente. El gráfico que va a través de la corrección del radio del palpador se saca a la impresora como el perfil registrado.

■ Tolerancia con Datos de Diseño

Los datos del contorno de la pieza de trabajo medida se pueden comparar con los datos de diseño en términos de formas real y diseñada más que solamente el análisis de las dimensiones individuales. En esta técnica, cada desviación del contorno medido desde el contorno pretendido se visualiza y registra. Además, se pueden procesar los datos de una pieza de trabajo como ejemplo para que lleguen a ser los datos de diseño patrón con los que comparar otras piezas de trabajo. Esta función es útil particularmente cuando la forma de una sección afecta considerablemente a las prestaciones del producto, o cuando su forma tiene una influencia en la relación entre piezas que se ajustan una a otra o que se ensamblan.

■ Mejor Ajuste (Best-fit)

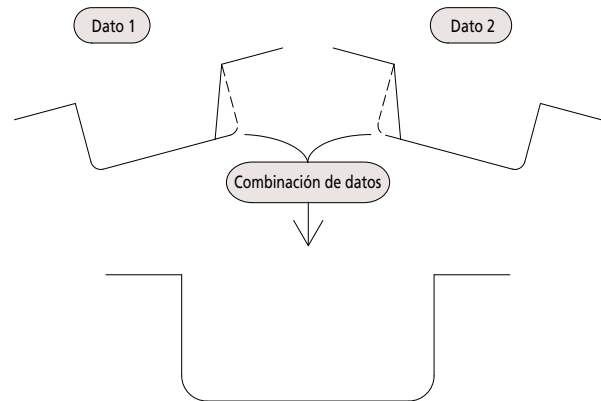
Si hay un patrón para los datos del perfil de la superficie, la tolerancia con los datos de diseño se realiza de acuerdo con el patrón. Si no hay patrón, o si se desea solamente la tolerancia con la forma, se puede realizar el best-fitting entre los datos de diseño y los datos de medición.



El algoritmo de procesamiento del best-fit busca las desviaciones entre ambos juegos de datos y deriva un sistema de coordenadas en el que la suma de los cuadrados de las desviaciones es un mínimo cuando los datos medidos se superponen sobre los datos de diseño.

■ Combinación de Datos

Convencionalmente, si se evita el trazado de un contorno completo por las restricciones del ángulo trazable del palpador, entonces se tiene que dividir en varias secciones que entonces se miden y evalúan por separado. Esta función evita esta situación indeseable combinando las secciones individuales dentro de un contorno sobreponiendo elementos comunes (líneas, puntos) entre sí. Con esta función se puede visualizar el contorno completo y realizar diversos análisis de forma normal.



■ Ejemplos de Medición



Palpador doble para medición hacia arriba y hacia abajo



Contorno de anillo interior/externo de un rodamiento



Dientes internos de engranaje



Forma de rosca hembra



Forma de rosca macho



Contorno de medidor

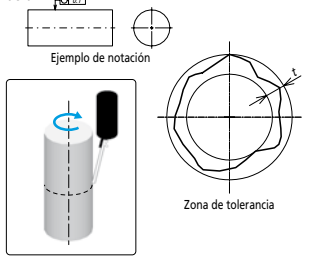


Equipos de Medición de Redondez (Roundtest)

- ISO 4291: 1985 Métodos para la evaluación de fuera de redondez – Medición de las variaciones
- ISO 1101: 1985 Especificaciones geométricas de productos (GPS) – Tolerancia geométrica

Redondez

Cualquier línea circular debe estar contenida dentro de la zona de tolerancia formada entre dos círculos coplanares con una diferencia en los radios de t



Ejemplo de verificación utilizando un aparato de medición de forma

Rectitud

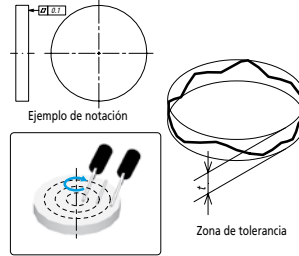
Cualquier línea sobre la superficie debe encontrarse dentro de la zona de tolerancia formada entre dos líneas rectas paralelas a una distancia t separada en la dirección especificada



Ejemplo de verificación utilizando un aparato de medición de forma

Planitud

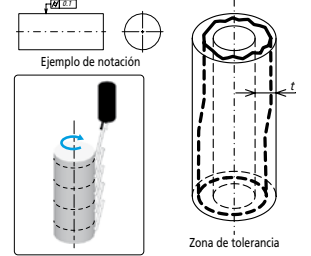
La superficie debe estar contenida dentro de la zona de tolerancia formada entre dos planos paralelos a una distancia t separada



Ejemplo de verificación utilizando un aparato de medición de forma

Cilindricidad

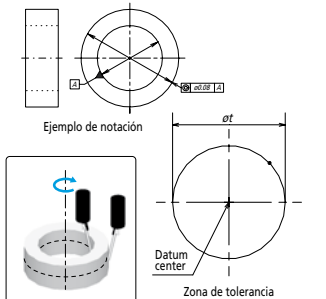
La superficie debe estar contenida dentro de la zona de tolerancia formada entre dos cilindros coaxiales con una diferencia en los radios de t



Ejemplo de verificación utilizando un aparato de medición de forma

Concentricidad

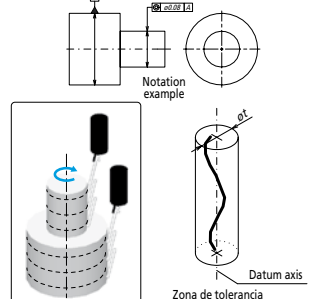
El punto central debe estar contenido dentro de la zona de tolerancia formada por un círculo de diámetro t concéntrico con la referencia



Ejemplo de verificación utilizando un aparato de medición de forma

Coaxialidad

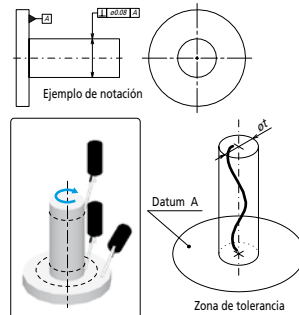
El eje debe estar contenido dentro de la zona de tolerancia formada por un círculo de diámetro t concéntrico con la referencia



Ejemplo de verificación utilizando un aparato de medición de forma

Perpendicularidad

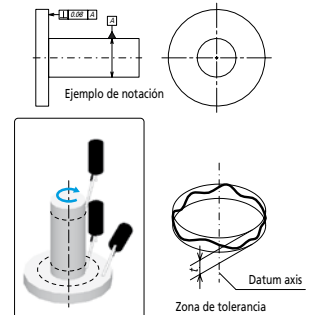
La línea debe estar contenida dentro de la zona de tolerancia formada entre dos planos a una distancia t separada y perpendicular a la referencia



Ejemplo de verificación utilizando un aparato de medición de forma

Cabeceo Circular (Radial y Axial)

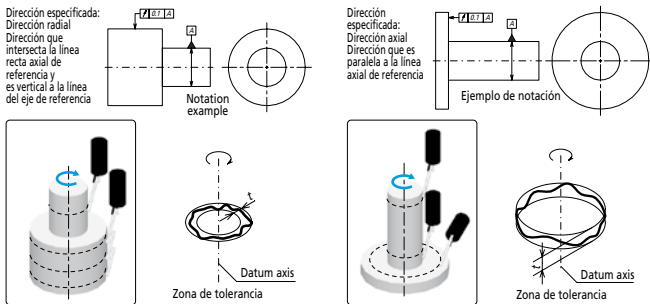
La superficie debe estar contenida dentro de la zona de tolerancia formada entre dos cilindros coaxiales con una diferencia en los radios de t , o planos a una distancia t separada, concéntricos con o perpendiculares a la referencia



Ejemplo de verificación utilizando un aparato de medición de forma

Cabeceo Total (Radial y Axial)

La superficie debe estar contenida dentro de la zona de tolerancia formada entre dos cilindros coaxiales con una diferencia en los radios de t , o planos a una distancia t separada, concéntricos con o perpendiculares a la referencia

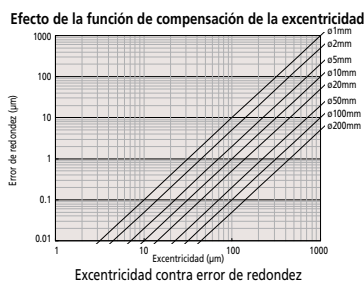
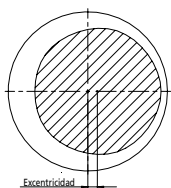


Ejemplo de verificación utilizando un aparato de medición de forma

Ajuste antes de la Medición

Centrado

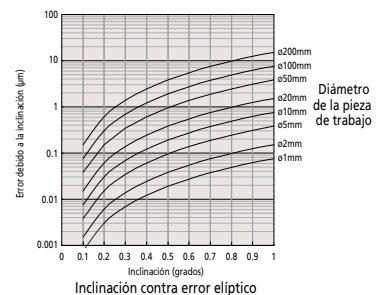
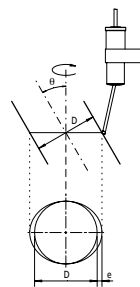
Un descentramiento en el desplazamiento (excentricidad) entre el eje de la mesa giratoria de Roundtest y el de la pieza de trabajo da como resultado una distorsión de la forma medida (error de Caracol de Pascal) y consecuentemente produce un error en el valor de redondez calculado. Cuanto mayor sea la excentricidad, mayor será el error en la redondez calculada. Por lo tanto, la pieza de trabajo debería estar centrada (hacer que los ejes coincidan) antes de la medición. Algunos probadores de redondez soportan mediciones precisas con una función de corrección del error de Caracol de Pascal. La efectividad de esta función se puede observar en el gráfico de debajo.



Diámetro de la pieza de trabajo

Nivelación

Cualquier inclinación del eje de una pieza de trabajo con respecto al eje rotacional del aparato de medición causará un error elíptico. La nivelación se debe realizar de tal forma que estos ejes estén suficientemente paralelos.



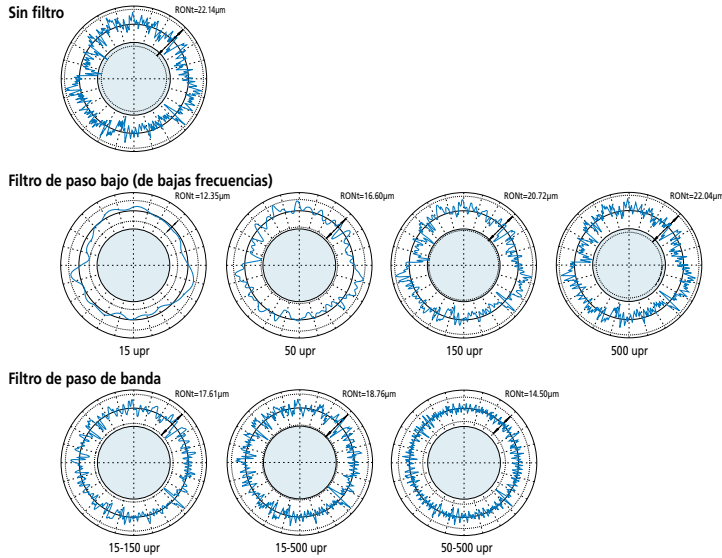
Diámetro de la pieza de trabajo

nes en el radio

- Tolerancias de forma, orientación, ubicación y postrecorrido

■ Efecto de la Configuración del Filtro en el Perfil Medido

Los perfiles se pueden filtrar de varias formas para reducir o eliminar detalles no deseados con un valor de corte puesto en ondulaciones por revolución (upr). Su efecto se muestra en el diagrama de abajo el cual muestra cómo el valor de redondez decremente mientras que al bajar el upr progresivamente suaviza la línea. Es necesario establecer apropiadamente el filtro para la evaluación requerida.

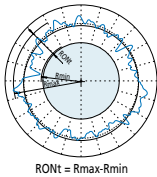


■ Evaluación de la Redondez del Perfil Medido

Los probadores de la redondez (RONt) utilizan los datos de medición para generar círculos de referencia cuyas dimensiones definen el valor de redondez. Existen cuatro métodos de generar estos círculos, tal como se muestra a continuación, y cada método tiene características individuales de tal forma que se debería escoger el método que mejor se adapte a la función de la pieza de trabajo.

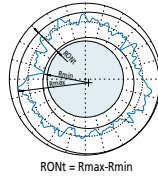
Método de Ajuste Mínimo Cuadrático de Círculo (LSC en inglés)

Se ajusta un círculo al perfil medido de tal forma que la suma de los cuadrados de la salida de los datos del perfil desde este círculo es un mínimo. La figura de redondez se define entonces como la diferencia entre las salidas máximas del perfil desde este círculo (del pico más alto al valle más profundo).



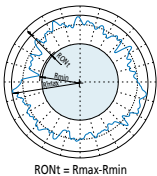
Método de Círculos de Zona Mínima (MZC en inglés)

Se posicionan dos círculos concéntricos para encerrar el perfil medido de tal forma que su diferencia radial sea mínima. La figura de redondez se define entonces como la separación radial de estos dos círculos.



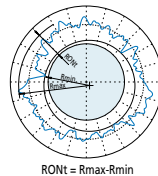
Método del Círculo Mínimo Circunscrito (MCC en inglés)

Se crea el círculo más pequeño que pueda encerrar el perfil medido. La figura de redondez se define entonces como la salida máxima del perfil desde este círculo. A este círculo se le refiere algunas veces como el círculo 'calibre anular'.



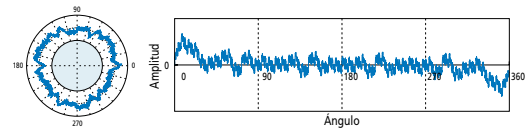
Método del Círculo Máximo Inscrito (MIC en inglés)

Se crea el círculo más grande que puede ser encerrado por los datos del perfil. La figura de redondez se define entonces como la salida máxima del perfil desde este círculo. A este círculo se le refiere algunas veces como el círculo 'calibre cilíndrico'.

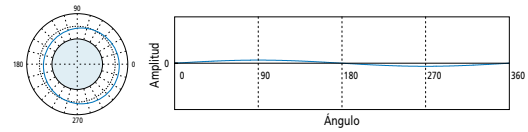


■ Datos de Ondulaciones Por Revolución (UPR) en los gráficos de redondez

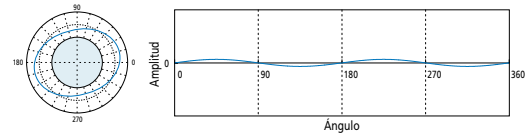
Gráficos de resultados de medición



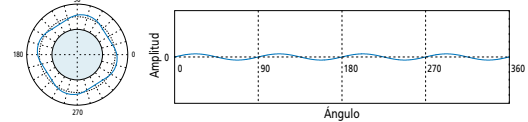
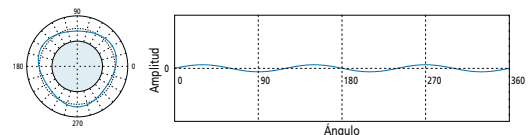
Una condición de 1 UPR indica excentricidad de la pieza de trabajo relativa al eje rotacional del aparato de medición. La amplitud de los componentes de ondulación depende de del ajuste de nivelación.



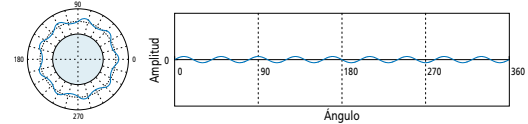
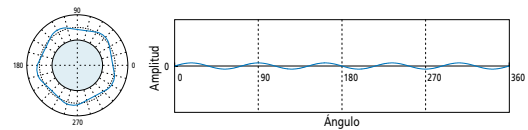
Una condición de 2 UPR podría indicar: (1) ajuste de nivelación insuficiente en el aparato de medición; (2) desviación circular debida al montaje incorrecto de la pieza de trabajo sobre la máquina herramienta que creó su forma; (3) la forma de la pieza de trabajo es elíptica por diseño como en, por ejemplo, un pistón de motor de combustión interna.



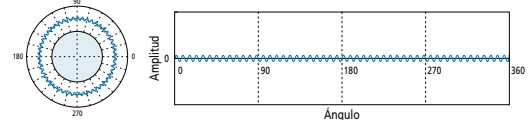
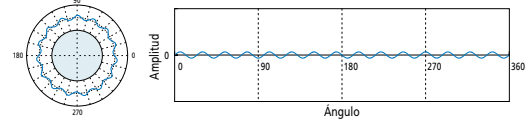
Una condición de 3 a 5 UPR podría indicar: (1) Deformación debida al apriete excesivo del portaherramientas de sujeción en el instrumento de medición; (2) deformación por relajación debida a la liberación de tensiones tras la descarga desde el portaherramientas de sujeción en la máquina herramienta que creó su forma.



Una condición de 5 a 15 UPR indica a menudo factores de desequilibrio en el método o en los procesos de mecanizado utilizados para producir la pieza de trabajo.



Una condición de 15 (o más) UPR se produce normalmente por la vibración de la herramienta (tintineo), vibración de la máquina, efectos del flujo del líquido refrigerante, la falta de homogeneidad del material, etc., y es generalmente más importante para la función que para la colocación de una pieza de trabajo.





Métodos de Prueba de Dureza y Directrices para la Selección de una Máquina para Prueba de Dureza

Método de Prueba	Microdureza (Micro-Vickers)	Características de material de micro superficie	Vickers	Rockwell	Rockwell Superficial	Brinell	Shore	Para esponja, goma y plástico	Portátil tipo rebote
Material									
Oblea de circuito integrado	●	●							
Carburo, cerámica (herramienta de corte)		▲	●	●					
Acero (material tratado térmicamente, materia prima)	●	▲	●	●	●		●		●
Material no ferroso	●	▲	●	●	●				●
Plástico		▲		●				●	
Piedra de esmeril				●					
Fundición						●			
Esponja, goma								●	
Forma									
Lámina delgada metálica (navaja de afeitar, lámina metálica)	●	●	●		●				
Película fina, revestimiento de chapa, pintura, capa superficial (capa nitrurada)	●	●							
Piezas pequeñas, piezas aciculares (manecilla de reloj, aguja de máquina de coser)	●	▲							
Probeta grande (estructura)						●	●		●
Configuración de material metálico (dureza para cada fase de aleación multicapa)	●	●							
Placa de plástico	▲	▲		●				●	
Placa de esponja, goma								●	
Aplicación									
Resistencia o propiedad física de los materiales	●	●	●	●	●	●	●	●	▲
Proceso de tratamiento térmico	●		●	●	●		▲		▲
Profundidad de capa de cementación	●		●						
Profundidad de capa descarbonizada	●		●		●				
Profundidad de capa de temple por llama o alta frecuencia	●		●	●					
Pruebas de templabilidad			●	●					
Dureza máxima de un punto soldado			●						
Dureza de soldadura			●	●					
Dureza a alta temperatura (características a alta temperatura, maquinabilidad en caliente)			●						
Resistencia a la fractura (cerámica)	●		●						

Clave: ● Muy apropiado ▲ Razonablemente apropiado

Métodos de Medición de Dureza

(1) Vickers

La dureza Vickers es un método de ensayo que tiene la gama más amplia de aplicación, permitiendo la inspección de la dureza con una fuerza de ensayo arbitraria. Este ensayo tiene un número extremadamente grande de campos de aplicación particularmente para los ensayos de dureza dirigidos con una fuerza de ensayo menor de **9.807N** (1kgf). Tal como se muestra en la fórmula siguiente, la dureza Vickers es un valor determinado dividiendo la fuerza de ensayo F (N) por la zona de contacto S (mm²) entre una probeta y un penetrador, que se calcula de la longitud diagonal d (mm, media de dos longitudes direccionales) de una indentación formada por el penetrador (un diamante piramidal cuadrado, ángulo entre caras opuestas $\theta=136^\circ$) en la probeta utilizando una fuerza de ensayo F (N). k es una constante ($1/g=1/9.80665$).

$$HV=k \frac{F}{S} = 0.102 \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F \sin^2 \frac{\theta}{2}}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

F: N
d: mm

El error en la dureza Vickers calculada se da por la fórmula siguiente. Aquí, Dd1, Dd2, y 'a' representan el error de medición que se debe al microscopio, un error en la lectura de una indentación, y la longitud de una línea del borde generado por las caras opuestas de una punta del penetrador, respectivamente. La unidad de Dq es grados.

$$\frac{DHV}{HV} \approx \frac{DF}{F} - 2 \frac{Dd1}{d} - 2 \frac{Dd2}{d} - \frac{a^2}{d^2} \cdot 3.5 \times 10^{-3} Dq$$

(2) Knoop

Tal como se muestra en la fórmula siguiente, la dureza Knoop es un valor obtenido dividiendo la fuerza de ensayo por la zona proyectada A (mm²) de una indentación, que se calcula de la longitud diagonal más larga d (mm) de la indentación formada por presionar un indentador de diamante romboide (ángulos de las caras opuestas de $172^\circ 30'$ y 130°) en una probeta con una fuerza de ensayo aplicada F. La dureza Knoop se puede medir también sustituyendo el indentador Vickers de una máquina de pruebas de microdureza con un indentador Knoop.

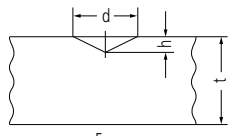
$$HK = k \frac{F}{A} = 0.102 \frac{F}{A} = 0.102 \frac{F}{cd^2} = 1.451 \frac{F}{d^2}$$

F: N
d: mm
c: Constante

(3) Rockwell y Rockwell Superficial

Para medir la dureza Rockwell o Rockwell Superficial, aplicar en primer lugar una fuerza de precarga y, a continuación, la fuerza de ensayo a una probeta y volver a la fuerza de precarga utilizando un indentador de diamante (ángulo del cono de la punta: 120° , radio de la punta: 0,2 mm.) o un indentador de esfera (bola de acero o bola de carburo). Este valor de dureza se obtiene de la fórmula de dureza expresado por la diferencia en la profundidad de indentación h (µm) entre las fuerzas de precarga y ensayo. Rockwell utiliza una fuerza de precarga de 98.07 N y Rockwell Superficial 29.42 N. A un símbolo específico proporcionado en combinación con un tipo de indentador, fuerza de ensayo, y la fórmula de la dureza se les conoce como una escala. Las Normas Industriales Japonesas (JIS) definen diversas escalas de la dureza relacionada.

Relación entre Dureza Vickers y el Espesor Mínimo de una Probeta

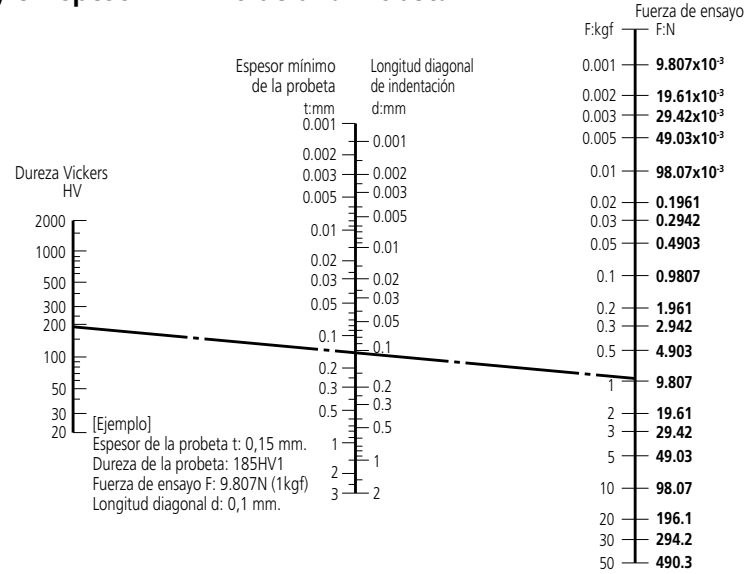


$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

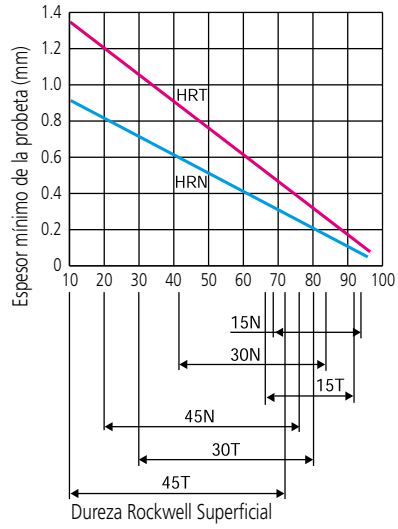
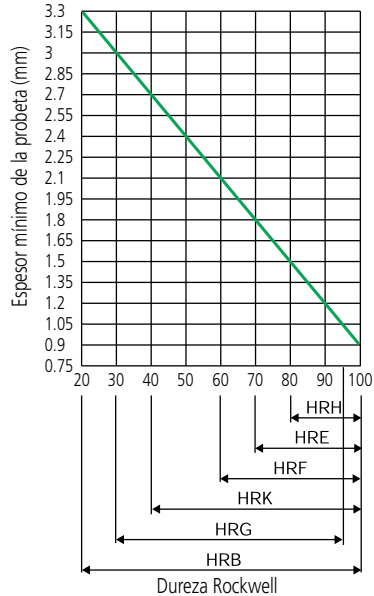
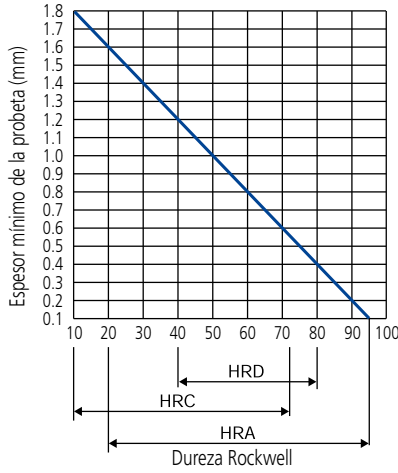
$$t > 1.5d$$

$$h = d/7$$

t: Espesor de la probeta (mm)
d: Longitud diagonal (mm)
h: Profundidad de indentación (mm)



Relación entre Dureza Rockwell/Rockwell Superficial y el Espesor Mínimo de una Probeta



Escalas de Dureza Rockwell

Escala	Identador	Fuerza de ensayo (N)	Aplicación
A	Diamante	588.4	Carburo, lámina de acero delgada Acero de cementación Acero (mayor de 100HRB o menor de 70HRC)
D		980.7	
C		1471	
F	Bola con un diámetro de 1.5875 mm	588.4	Metal para rodamientos, cobre recocido Latón Aleación de aluminio duro, cobre de berilio, bronce fosforoso
B		980.7	
G		1471	
H	Bola con un diámetro de 3.175 mm	588.4	Metal para rodamientos, piedra de esmeril Metal para rodamientos Metal para rodamientos
E		980.7	
K		1471	
L	Bola con un diámetro de 6.35 mm	588.4	Plástico, plomo
M		980.7	
P		1471	
R	Bola con un diámetro de 12.7 mm	588.4	Plástico, plomo
S		980.7	
V		1471	

Escalas de Dureza Rockwell Superficial

Escala	Identador	Fuerza de ensayo (N)	Aplicación
15N	Diamante	147.1	Capa superficial delgada, endurecida en acero tal como el carburizado o nitrurado
30N		294.2	
45N		441.3	
15T	Bola con un diámetro de 1.5875 mm	147.1	Lámina metálica fina de acero suave, latón, bronce, etc.
30T		294.2	
45T		441.3	
15W	Bola con un diámetro de 3.175 mm	147.1	Plástico, zinc, aleación para rodamientos
30W		294.2	
45W		441.3	
15X	Bola con un diámetro de 6.35 mm	147.1	Plástico, zinc, aleación para rodamientos
30X		294.2	
45X		441.3	
15Y	Bola con un diámetro de 12.7 mm	147.1	Plástico, zinc, aleación para rodamientos
30Y		294.2	
45Y		441.3	

Bloques de Calibración: Fuerza de Ensayo de Dureza Rockwell y Rockwell Superficial

Nº		Dureza Rockwell			Dureza Rockwell Superficial		
Fuerza de ensayo preliminar	N	98,07			29,42		
	kgf	10			3		
Fuerza de ensayo	N	588,4	980,7	1471	147,1	294,2	441,3
	kgf	60	100	150	15	30	45
Penetrador de diamante		A	D	C	15N	30N	45N
Bola de pulgadas	Ø 1/16"	F	B	G	15T	30T	45T
	Ø 1/8"	H	E	K	15W	30W	45W
	Ø 1/4"	L	M	P	15X	30X	45X
	Ø 1/2"	R	S	V	15Y	30Y	45Y



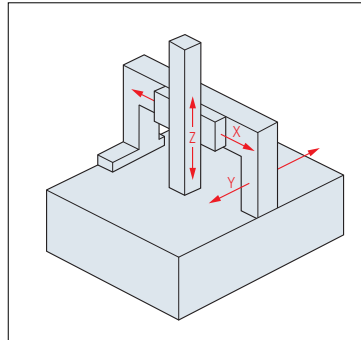
Máquinas de Medición por Coordenadas

Las máquinas de medición por coordenadas Mitutoyo utilizan cuatro tipos de estructura que brindan los beneficios de una excelente estabilidad, alta exactitud, alta velocidad de medición, sujeción de la pieza de trabajo, etc.

CMM tipo puente móvil

Este tipo está configurado con el ariete de movimiento vertical (eje Z) montado en un carro, el carro (eje X) se mueve horizontalmente sobre una estructura de puente que está soportada por la base y guiada horizontalmente para formar el eje Y. Se carga una pieza de trabajo en la base.

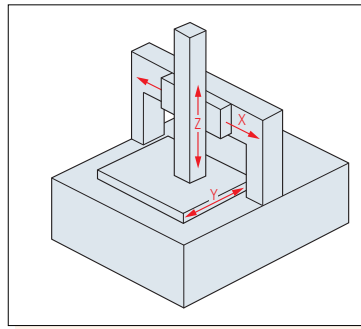
Muchos modelos de CMM Mitutoyo han adoptado este tipo de estructura, logrando alta exactitud, alta velocidad y alta aceleración. Mitutoyo ofrece una sólida línea de CMMs de este tipo, desde modelos compactos hasta los tamaños más grandes que se encuentran en la sala de inspección.



CMM Tipo puente fijo

Este tipo está configurado con el ariete de movimiento vertical (eje Z) montado en un carro, el carro (eje X) moviéndose horizontalmente sobre una estructura de puente fijada a la base y una mesa (eje Y) moviéndose horizontalmente sobre la base. Se carga una pieza en la mesa móvil.

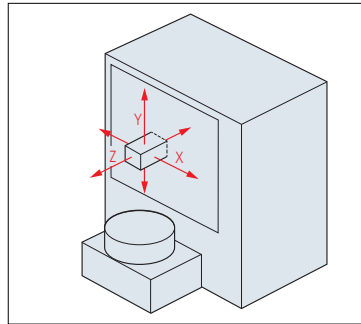
La serie CNC CMM LEGEX de ultra alta exactitud de Mitutoyo ha adoptado este tipo de estructura, proporcionando la mayor exactitud del mundo al minimizar las fuentes de error a través de una exhaustiva investigación y análisis.



CMM tipo brazo horizontal

Este tipo está configurado con el ariete de movimiento horizontal (eje Z) montado en un carro, el carro (eje Y) se mueve verticalmente sobre una columna soportada por la base y la columna (eje X) se mueve horizontalmente sobre la base. Se carga una pieza de trabajo en la base.

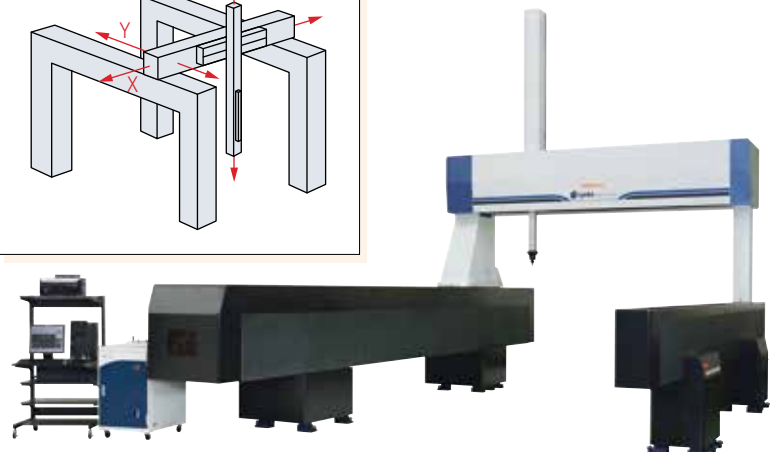
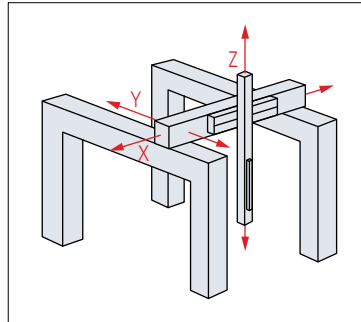
La serie Mitutoyo CNC tipo en línea CMM MACH-3A ha adoptado este tipo de estructura, logrando un posicionamiento de alta velocidad, ahorro de espacio y durabilidad para ser compatible con la instalación en línea de producción.



CMM tipo puente / piso

Este tipo está configurado con el ariete de movimiento vertical (eje Z) montado en un carro, el carro (eje X) se mueve horizontalmente sobre una estructura de doble puente (eje Y) que se apoya en un piso duro. Una pieza de trabajo se coloca directamente en el suelo.

La CMM CNC de guía separada ultra grande de Mitutoyo ha adoptado este tipo que incorpora la estructura original de Mitutoyo (tipo de instalación de puente móvil en el piso). Permite la medición de alta exactitud de una pieza de trabajo grande y pesada, con el intervalo de medición más grande del mundo.



El procedimiento para evaluar el rendimiento de las CMM's se define en la norma JIS B7440 (2003). Esta página proporciona un vista general de los parámetros que Mitutoyo muestra en su catálogo.

■ Error Máximo Permitido (MPE) de longitud de medición [JIS B7440-2 (2003)]

El procedimiento de ensayo bajo esta norma consiste en que una máquina de medición por coordenadas (CMM) se construye para realizar una serie de mediciones en cinco longitudes de ensayo diferentes en cada una de las siete direcciones, tal como se muestra en la Figura 1, para producir un juego de 35 mediciones. Esta secuencia se repite luego dos veces para producir 105 mediciones en total. Si estos resultados, incluyendo bandas para la incertidumbre de medición, son iguales a o menores que los valores especificados por el fabricante, entonces se ha probado que el rendimiento de la CMM ha cumplido con su especificación.

La norma permite hasta cinco mediciones que sobrepasen el valor especificado (dos resultados INCORRECTOS entre mediciones de 3 veces no se permiten). Si ese fuera el caso, se realizarían mediciones adicionales de 10 veces para la posición aplicable. Si todos los 10 resultados, incluyendo bandas para la incertidumbre de medición, están dentro del valor especificado, se asume que la CMM pasa el ensayo. Las incertidumbres a considerar a la hora de determinar el error máximo permitido de medición son las que tienen que ver con los métodos de alineación y calibración utilizados con los patrones de longitud de materiales particulares que toman parte en el ensayo. (Los valores obtenidos al añadir una incertidumbre expandida que combina las dos incertidumbres de arriba a todos los resultados del ensayo deben ser menores que el valor especificado). El resultado del ensayo se debe expresar en cualquiera de las tres siguientes formas (unidad: μm).

$$\begin{aligned} E_{0,MP\epsilon}(MPE_{\epsilon}) &= A+L/K \leq B \\ E_{0,MP\epsilon}(MPE_{\epsilon}) &= A+L/K \\ E_{0,MP\epsilon}(MPE_{\epsilon}) &= B \end{aligned} \left\{ \begin{array}{l} A: \text{Constante } (\mu\text{m}) \text{ especificada por el fabricante} \\ K: \text{Constante adimensional especificada por el fabricante} \\ L: \text{Longitud medida (mm)} \\ B: \text{Valor de límite superior } (\mu\text{m}) \text{ especificado por el fabricante} \end{array} \right.$$

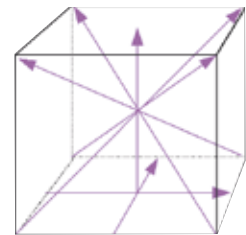


Figura 1 Direcciones típicas de medición para ensayo dentro del volumen de medición de la CMM

■ Error Máximo Permitido de Palpado por escaneo MPE_{THP} [JIS B7440-4 (2003)]

Esta es la norma de exactitud para una CMM si está equipada con un palpador de escaneo. El procedimiento de ensayo consiste en realizar una medición mediante escaneo de 4 planos sobre la esfera patrón y, a continuación, para el centro de la esfera de mínimos cuadrados calculado utilizando todos los puntos de medición, calcular el intervalo (dimensión 'A' en la Figura 3) en la que existen todos los puntos de medición. Basándose en el centro de la esfera de mínimos cuadrados calculado anteriormente, calcular la distancia entre el radio de la esfera patrón calculado y el punto de medición mínimo o el punto de medición máximo y tomar la distancia mayor (dimensión 'B' en la Figura 3). Añadir una incertidumbre expandida que combina la incertidumbre de la forma de la punta del palpador y la incertidumbre de la forma de la esfera patrón del ensayo a cada dimensión A y B. Si ambos valores calculados son menores que los valores especificados, este ensayo de palpado por escaneo queda aceptado.

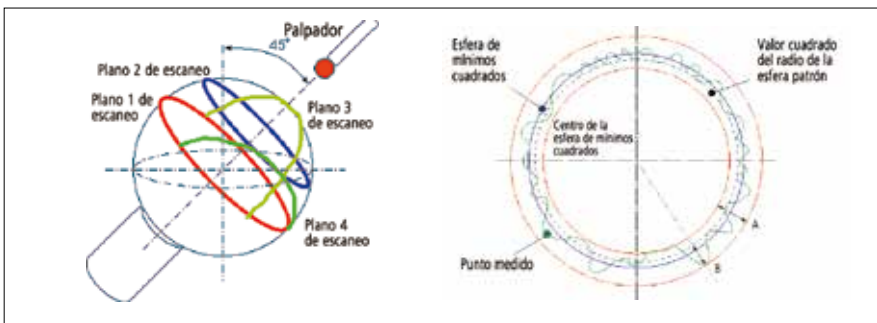


Figura 3 Planos de medición objetivos para el error máximo permitido de palpado por escaneo y su concepto de evaluación

■ Error Máximo Permitido de Forma de Palpado Individual MPE_p [JIS B7440-2 (2003)]

El procedimiento del ensayo bajo esta norma consiste en que se utilice un palpador para medir los puntos objetivos definidos en una esfera patrón (25 puntos, como en la Figura 2) y el resultado utilizado para calcular la posición del centro de la esfera por un método de los mínimos cuadrados. A continuación se calcula la distancia R desde el centro de la esfera para cada uno de los 25 puntos de medición y se computa la diferencia del radio $R_{max} - R_{min}$. Se añade una incertidumbre expandida que combina la incertidumbre de la forma de la punta del palpador y la de la esfera patrón de ensayo a la diferencia del radio. Si este valor calculado final es igual a o menor que el valor especificado, el palpador ha pasado el ensayo.

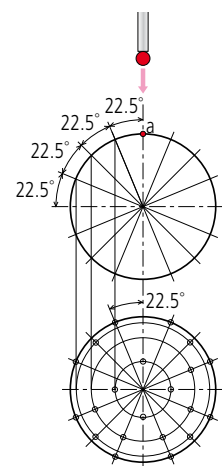


Figura 2 Puntos objetivo en la esfera patrón para verificar el error máximo permitido de palpado

Mitutoyo Mexicana, S.A. de C.V.

M3 Solution y Laboratorio México

Industria Eléctrica No. 15
Parque Industrial C.P. 53370
Naucalpan de Juárez, Edo. de México
Tel. (55) 5312 5612
proyectos@mitutoyo.com.mx
laboratorio@mitutoyo.com.mx

M3 Solution Monterrey

Blvd. Interamerican 300A
Parque Industrial FINSA
C.P. 66600
Apodaca, N.L.
Tel.: (81) 8398 8227 / 8228 / 8242 / 8244
mitutoyomty@mitutoyo.com.mx

M3 Solution Aguascalientes

Av. Aguascalientes Norte No. 622 local 15.
Centro Comercial el Cilindro. Fracc. Pulgas
Pandas Norte
C.P. 20138, Aguascalientes, Ags
Tel.: (449) 174 4140 / 43
mitutoyoags@mitutoyo.com.mx

M3 Solution y Laboratorio Querétaro

Av. Cerro Blanco 500 1
Centro Sur, Querétaro,
Querétaro. C.P. 76090, México
Tel: (442) 340 8018 / 19
mitutoyoqro@mitutoyo.com.mx
labqueretaro@mitutoyo.com.mx

M3 Solution Irapuato

Boulevard a Villas de Irapuato No. 1460 L. 1
Col. Ejido Irapuato
C.P. 36643
Irapuato, Gto.
Tel: (462) 144 1200 / 1400
mitutoyoirapuato@mitutoyo.com.mx

M3 Solution Tijuana

Calle José María Velasco 10501-C
Col. Zona Río
Tijuana, Baja California
C.P. 22320
Tel.: (664) 647 5024
mitutoyotj@mitutoyo.com.mx

