

Calibradores

CALIBRADORES VERNIER

Introducción

La escala vernier la inventó Petrus Nonius (1492-1577), matemático portugués por lo que se le denominó nonio. El diseño actual de la escala deslizante debe su nombre al francés Pierre Vernier (1580-1637), quien la perfeccionó.

El calibrador vernier fue elaborado para satisfacer la necesidad de un instrumento de lectura directa que pudiera brindar una medida fácilmente, en una sola operación. El calibrador típico puede tomar tres tipos de mediciones: exteriores, interiores y profundidades, pero algunos además pueden realizar medición de peldaño (véase Fig. 7.1).

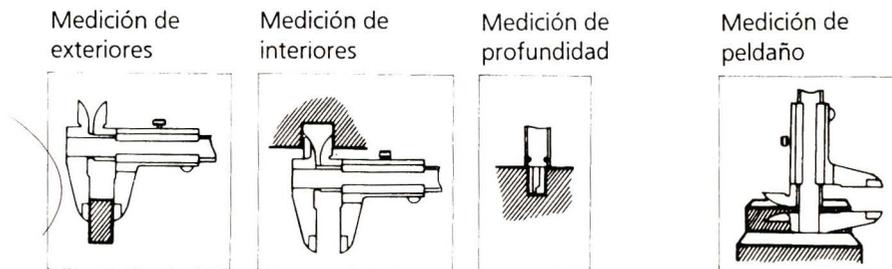


Figura 7.1.

La figura 7.2 indica la nomenclatura para las partes de un calibrador vernier tipo M.

Tipos de vernier

El vernier es una escala auxiliar que se desliza a lo largo de una escala principal para permitir en ésta lecturas fraccionales exactas de la mínima división.

Para lograr lo anterior, una escala vernier está graduada en un número de divisiones iguales en la misma longitud que $n-1$ divisiones de la escala principal; ambas escalas están marcadas en la misma dirección. Una fracción de $1/n$ de la mínima división de la escala principal puede leerse (véase Fig. 7.3).

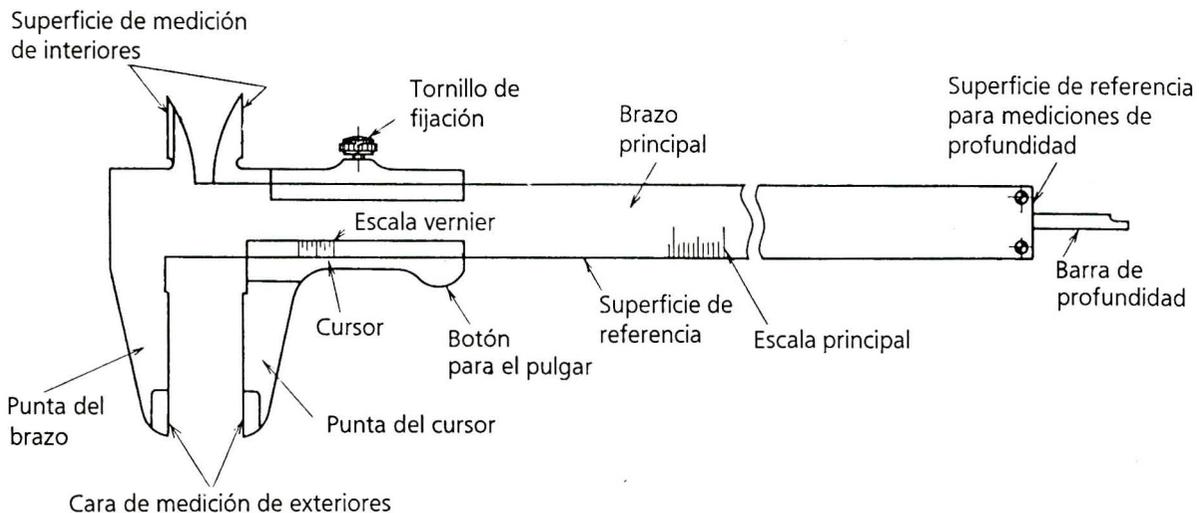


Figura 7.2.

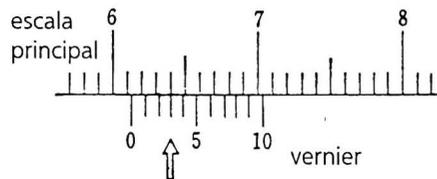


Figura 7.3.

Los calibradores vernier, en milímetros tienen 20 divisiones que ocupan 19 divisiones de la escala principal graduada cada 1 mm, o 25 divisiones que ocupan 24 divisiones sobre la escala principal graduada cada 0.5 mm, por lo que dan legibilidad de 0.05 mm y 0.02 mm, respectivamente.

Número de escalas principales en calibradores vernier

La escala principal está graduada en uno o dos lados, como lo muestra la tabla 1. El calibrador vernier tipo M por lo general tiene graduaciones únicamente en el lado inferior. El tipo CM tiene graduaciones en los lados superior e inferior para medir exteriores e interiores. El tipo M, diseñado para mediciones en milímetros y pulgadas, tiene graduaciones en los lados superior e inferior, una escala está graduada en milímetros y la otra en pulgadas.

Tabla 7.1. Número de escalas principales en calibradores vernier

Tipo	Número de escalas	Unidad o tipo de medición
M	1	Pulgadas y milímetros
M	2	Pulgadas y milímetros
CM	2	Medición de exteriores e interiores

Graduaciones en las escalas principal y vernier

La tabla 7.2 muestra diferentes tipos de graduaciones sobre las escalas principales y vernier. Hay cinco tipos para la primera y ocho tipos para la segunda, incluyendo los sistemas métrico e inglés.

Tabla 7.2. Graduaciones de las escalas principal y vernier

Medición principal	Graduaciones escala vernier	Lecturas del vernier	Mínima división escala principal	Graduaciones escala vernier	Lecturas del vernier
mm	25 divisiones en 12 mm	0.02 mm	1/16 pulg	8 divisiones en 7/16 pulg	1/128 pulg
	25 divisiones en 24.5 mm	0.02 mm			
mm	50 divisiones en 49 mm	0.02 mm	1/40 pulg	25 divisiones en 1.225 pulg	1 / 1 0 0 0 pulg
	20 divisiones en 19 mm	0.05 mm			
	20 divisiones en 39 mm	0.05 mm			

Cómo tomar lecturas con escalas vernier

Los vernier se clasifican en dos tipos, el estándar y el largo.

Vernier estándar

Este tipo de vernier es el más comúnmente utilizado, tiene n divisiones iguales que ocupan la misma longitud que $n-1$ divisiones sobre la escala principal. En la figura 7.4 hagamos:

S = valor de la mínima división en la escala principal

V = valor de una división de la escala vernier

L = legibilidad del vernier

Entonces el valor C es obtenido como sigue:

$$(n - 1) S = nV \quad V = \frac{(n - 1)}{n} S \quad L = aS - V = \frac{naS - naS + S}{n} = \frac{S}{n}$$

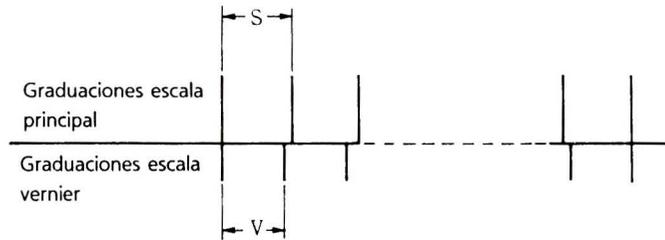


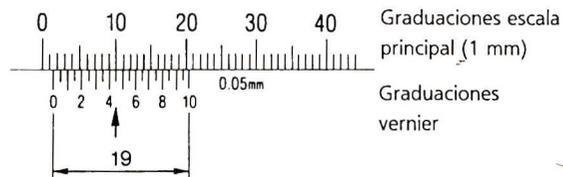
Figura 7.4.

Así, cada división sobre la escala vernier es menor que una de la escala principal en s/n . La fracción entre las dos primeras graduaciones de la escala principal ubicadas inmediatamente a la izquierda del índice cero del vernier está representada por un múltiplo de s/n (la diferencia entre una división de la escala principal y una división de la vernier). La diferencia se determina encontrando la graduación sobre la escala vernier que esté más alineada con una graduación sobre la escala principal.

La figura 7.5 muestra un ejemplo de lectura de una escala principal graduada en milímetros con un vernier que tiene 20 divisiones iguales en 19 mm.

La diferencia entre una división de la escala principal y una de la escala vernier es como sigue:

$$L = S - V = \frac{S}{n} = \frac{1}{20} \text{ mm} = 0.05 \text{ mm}$$



Lectura: 1.45 mm

Figura 7.5.

Como lo muestra la figura 7.5, la novena graduación (próxima a la graduación numerada 4) después del índice cero sobre la escala vernier está alineada con una graduación sobre la escala principal. Así, la distancia entre la graduación de 1 mm sobre la escala principal y el índice cero del vernier es:

$$0.05 \text{ mm} \times 9 = 0.45 \text{ mm}$$

La lectura total es:

$$1 \text{ mm} + 0.45 \text{ mm} = 1.45 \text{ mm}$$

Vernier largo

El vernier largo está diseñado para que las graduaciones adyacentes sean más fáciles de distinguir. Por ejemplo, un vernier largo con 20 divisiones iguales en 39 mm proporciona una legibilidad de 1/20 mm, la cual es la misma del vernier estándar del ejemplo anterior. Dado que este vernier tiene 20 divisiones que ocupan 39 mm sobre la escala principal, la diferencia entre dos divisiones sobre la escala principal y una división sobre el vernier está dado como:

$$L = 2 \text{ mm} - \frac{39}{20} \text{ mm} = \frac{1}{20} \text{ mm} = 0.05 \text{ mm}$$

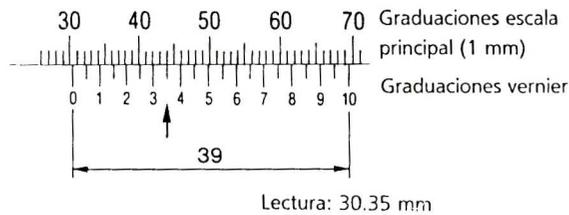


Figura 7.6.

Como puede apreciarse en la figura 7.6, la séptima graduación (entre las graduaciones numeradas 3 y 4) ubicada después del índice cero sobre la escala vernier coincide con una graduación de la escala principal, por tanto, la distancia entre la graduación 30 mm sobre la escala principal y el índice cero del vernier es:

$$0.05 \text{ mm} \times 7 = 0.35 \text{ mm}$$

La lectura total es:

$$30 \text{ mm} + 0.35 \text{ mm} = 30.35 \text{ mm}$$

Una división sobre los vernier largos puede ser expresada como:

$$\frac{(an - 1)}{n}$$

Donde, *a* es un entero positivo (1, 2, 3...)

La legibilidad de un vernier largo con *n* divisiones iguales en la misma longitud que *an-1* divisiones sobre la escala principal es 1/*n* de una división de la escala principal, como se muestra a continuación:

Hagamos

S = valor de una división de la escala principal

V = valor de una división vernier

L = legibilidad del vernier

a = entero positivo (1, 2, 3...)

Entonces el valor L es obtenido como sigue:

$$(ab - 1) S = nV$$

$$V = \frac{an - 1}{n} S \qquad L = aS - V = \frac{naS - naS + S}{n} = \frac{S}{n}$$

Así, cada división sobre el vernier es menor, a veces una división de la escala principal en s/n .

Vernier en pulgadas

En la figura 7.7 el índice cero del vernier está entre la segunda y tercera graduaciones después de la graduación de 1 pulgada sobre la escala principal. El vernier está graduado en ocho divisiones iguales que ocupan siete divisiones sobre la escala principal, por tanto, la diferencia entre una división de la escala principal y una división de la escala vernier está dada como:

$$L = S - V = \frac{S}{n} = \frac{1}{16} \text{ pulg} \div 8 = \frac{1}{128} \text{ pulg}$$

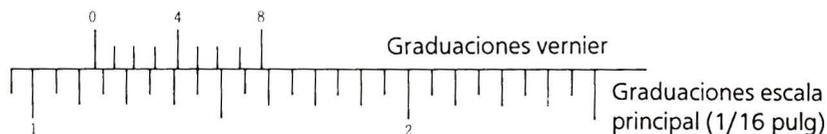


Figura 7.7.

La figura 7.7 muestra que la quinta graduación después del índice cero sobre la graduación vernier coincide con una graduación de la escala principal. Así, la fracción es calculada como:

$$\frac{1}{128} \text{ pulg} \times 5 = \frac{5}{128} \text{ pulg}$$

La lectura total es:

$$1 \text{ pulg} + \frac{2}{16} \text{ pulg} + \frac{5}{128} \text{ pulg} = 1 \frac{21}{128} \text{ pulg}$$

Cuando haya lecturas en que el numerador de la fracción resulte par, ésta se simplificará como sea necesario hasta no obtener un valor impar en el numerador, así: $8/16 = 3/4$ o $32/64 = 1/2$.

Construcción del brazo principal y cursor

Las mediciones sobre un calibrador vernier se leen en la graduación vernier que está alineada con una graduación de la escala principal. Sin embargo, la posición alineada puede variar según el ángulo de visión (error de paralaje). Si un calibrador es utilizado en un medio ambiente adverso en el que la cara graduada está expuesta a rebabas y polvo, puede ser difícil leer las graduaciones debido a rayaduras o manchas. El movimiento del cursor también puede perder su uniformidad con el fin de superar estos problemas. Hay disponibles diversos tipos de construcción de brazo principal y cursor (véanse las Figs. 7.8 a 7.13).

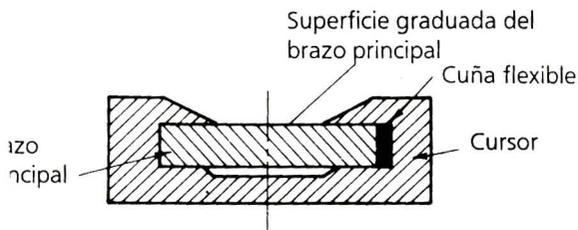


Figura 7.8.

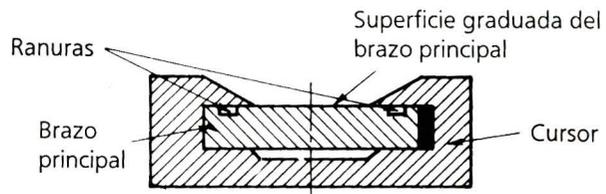


Figura 7.9.

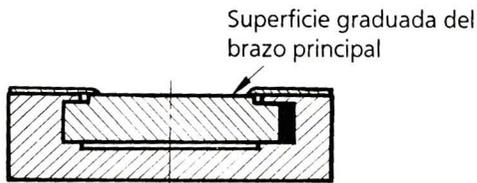


Figura 7.10.

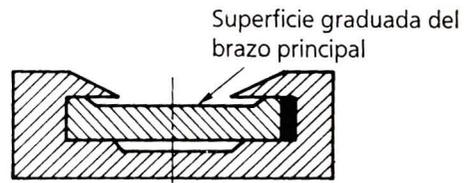


Figura 7.11.

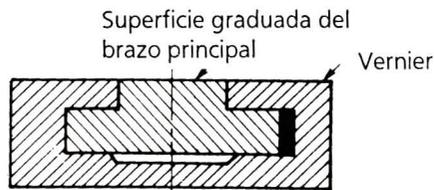


Figura 7.12

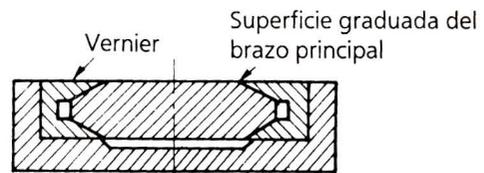


Figura 7.13.

Construcción estándar

Éste es el tipo común de construcción; como lo muestra la figura 7.8, el borde de la cara graduada del vernier está en contacto con la cara graduada de la escala principal, por lo que el error de paralaje es mínimo, pero la desventaja es que la

cara graduada del brazo principal está expuesta a daños por el movimiento del cursor.

Construcción con ranuras

La cara graduada de la escala principal tiene ranuras, como lo muestra la figura 7.9. Esta construcción permite un deslizamiento suave del cursor, lo que reduce la fricción entre el brazo principal y el cursor; además, permite recolectar el polvo en el interior del cursor dentro de las ranuras. Una versión modificada de este tipo tiene una placa delgada sobre la que está grabada la escala vernier, la cual queda paralela con la cara sobre la que está grabada la escala principal, esto con el fin de minimizar el error de paralaje (véase la Fig. 7.10).

Construcción rebajada

En este tipo de calibrador la superficie sobre la que está grabada la escala principal tiene un rebaje de aproximadamente 0.05 mm (Fig. 7.11). En esta construcción los bordes del cursor no estarán en contacto con la superficie graduada del brazo principal, minimizándose así el daño a la superficie graduada de éste (estos calibradores tienen rangos de medición de hasta 1000 mm).

Construcción con ajuste al ras

Como lo muestran las figuras 7.12 y 7.13, las superficies graduadas del brazo principal y del cursor están al ras una con la otra. Las graduaciones de ambas superficies quedan frente a frente. Esta construcción elimina errores de paralaje. El tipo con ajuste al ras mostrado en la figura 7.13 algunas veces es referido como tipo diamante, debido a la forma de la sección transversal del brazo principal.

Clasificación de los calibradores por tamaño y tipo

Calibradores grandes y pequeños

Hay calibradores disponibles en diversos tamaños, con rangos de medición de 100 mm a 3 m (4 a 120 pulg). Generalmente, los calibradores con rango de 300 mm (12 pulg) o menos son clasificados como pequeños, los de rango mayor como grandes.

Calibradores vernier tipo estándar

La norma JIS B-7507 especifica dos tipos de calibradores vernier estándar: el tipo M (Fig. 7.2) y el tipo CM (Fig. 7.18).

Calibradores vernier tipo M

La figura 7.2 muestra un calibrador vernier tipo M (llamado calibrador con barra de profundidades). Este calibrador tiene un cursor abierto y puntas para medición de interiores. Los calibradores con un rango de 300 mm o menos cuentan con una barra de profundidades, mientras que carecen de ella los de rangos de medición de 600 mm y 1000. El vernier está graduado con 20 divisiones en 39 mm para el tipo con legibilidad de 0.05 mm, o en 50 divisiones en 49 mm para el tipo con legibilidad de 0.02 mm. Algunos calibradores vernier tipo M (Fig. 7.15) están diseñados para facilitar la medición de peldaño, ya que tienen el borde del cursor al ras con la cabeza del brazo principal cuando las puntas de medición están completamente cerradas.

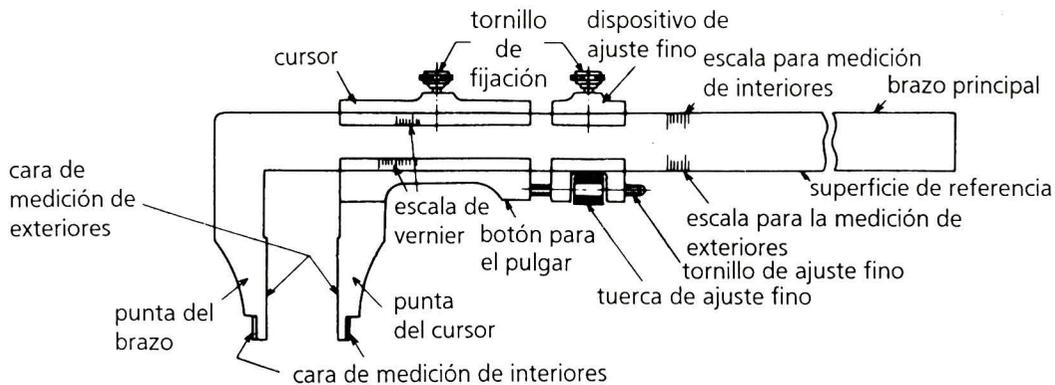


Figura 7.14.

Calibrador vernier tipo CM

La figura 7.14 corresponde al calibrador vernier tipo CM; como puede apreciarse, tiene un cursor abierto y está diseñado en forma tal que las puntas de medición de exteriores puedan utilizarse en la medición de interiores. Este tipo por lo general cuenta con un dispositivo de ajuste para el movimiento fino del cursor. A diferencia del tipo M, las puntas de medición no están achaflanadas, por lo que tienen una mayor resistencia al desgaste y daño. El calibrador tipo C, que es una versión simplificada del tipo CM, no tiene dispositivo de ajuste fino y tiene legibilidad de 0.05 mm. Ambos calibradores carecen de barra de profundidades.

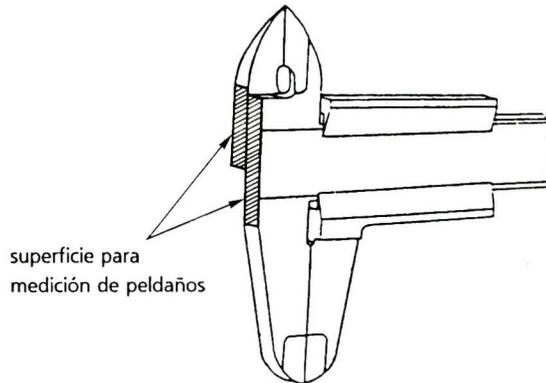


Figura 7.15.

Otros tipos de calibradores vernier

Los calibradores vernier antes descritos son los tipos estándar más ampliamente utilizados. Hay, sin embargo, demanda de calibradores para propósitos especiales. Los siguientes tipos fueron creados para satisfacer tal demanda.

Calibradores vernier tipo M con ajuste fino

El calibrador vernier tipo M que incorpora el mecanismo de ajuste fino del tipo CM es útil para medir pequeñas dimensiones interiores; existen calibradores de este tipo con rangos de 130, 180 y 280 mm, todos con legibilidad de 0.02 mm.

El calibrador vernier tipo M con freno en el botón para el pulgar tiene la superficie de referencia de la escala principal (para guiar el cursor) al lado de las puntas de medición de exteriores, y una cuña flexible con un tornillo de fijación al lado del cursor de las puntas de medición de interiores. El muelle en el botón para el pulgar sobre el cursor es utilizado para fijar éste. Manteniendo oprimido el botón moleteado para el pulgar el cursor se libera y puede moverse suavemente, lo que bloquea el movimiento del cursor y elimina la necesidad de apretar y aflojar el tornillo de fijación, mejorándose así la eficiencia de la medición. (Fig. 7.16.)

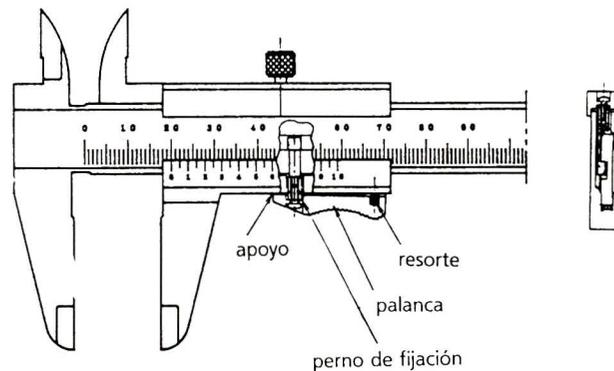


Figura 7.16.

Calibradores con caras de medición de carburo

Las caras de medición de los calibradores están sujetas a desgaste, por lo que con el objeto de incrementar la resistencia a la abrasión algunos calibradores tienen insertos de carburo (de tungsteno) en las puntas de medición para exteriores e interiores. Estos calibradores son adecuados para medir piezas con superficies ásperas, fundiciones y piedras de esmeril (Fig. 7.17).

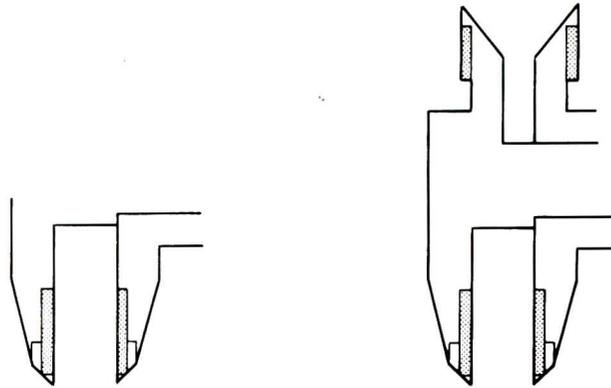


Figura 7.17.

Calibradores vernier con puntas desiguales

Este tipo de calibrador permite ajustar verticalmente, aflojando un tornillo de fijación, la punta de medición sobre la cabeza del brazo principal (Fig. 7.18), lo que posibilita medir dimensiones en piezas escalonadas que no puedan medirse con calibradores estándar.

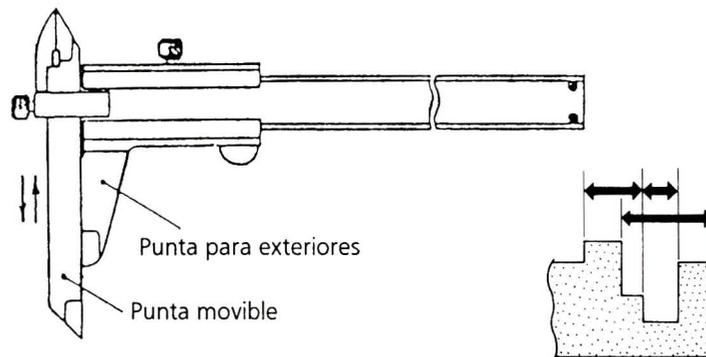


Figura 7.18.

Calibradores con punta de medición abatible

El calibrador de este tipo tiene la punta de medición del cursor dispuesta de tal modo que puede girar $\pm 90^\circ$ alrededor de un eje paralelo a la línea de medición (Fig. 7.19), por tanto, puede medir piezas escalonadas y ejes con secciones descentradas que no pueden medirse con calibradores estándar.

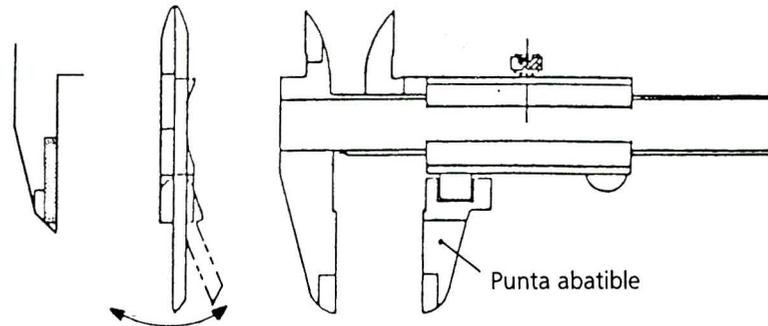


Figura 7.19.

Calibradores con puntas largas

Este calibrador es un diseño modificado de los calibradores tipo C y CM; tiene un brazo principal y unas puntas de medición más largas que los tipos normales (Fig. 7.20) y puede medir diámetros interiores de agujeros profundos y diámetros exteriores grandes que no pueden medirse con los calibradores estándar. Las longitudes estándar de las puntas de estos calibradores son de 75 mm, para un rango de medición de 300 mm, y de 100 mm, para un rango de medición de 500 mm.

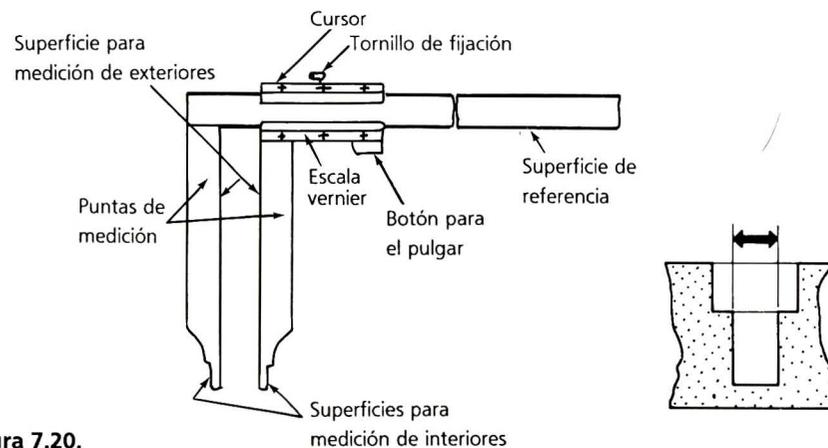


Figura 7.20.

Calibradores de carátula con fuerza constante

En la actualidad se utilizan, en gran escala, materiales plásticos para partes maquinadas, las cuales requieren una medición dimensional exacta. Debido a que estos materiales son suaves, pueden deformarse con la fuerza de medición de los calibradores y micrómetros ordinarios, lo que provocaría mediciones inexactas. Los calibradores de carátula con fuerza constante han sido creados para medir materiales fácilmente deformables. La figura 7.21 muestra un calibrador de este tipo.

Como lo muestra la figura 7.22, el calibrador de carátula con fuerza constante está diseñado de modo que la punta de medición del brazo principal no es parte del mismo, sino que está sujeta al brazo mediante resortes paralelos que aplican una fuerza de medición constante a la pieza que se está midiendo.

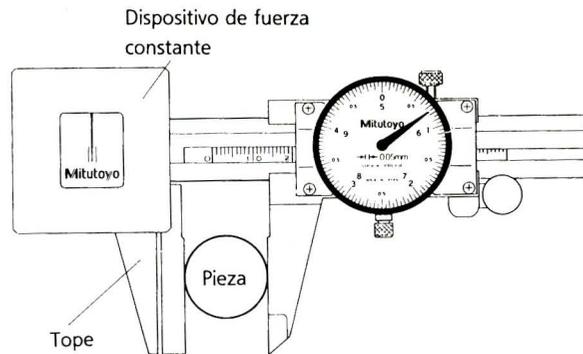


Figura 7.21.

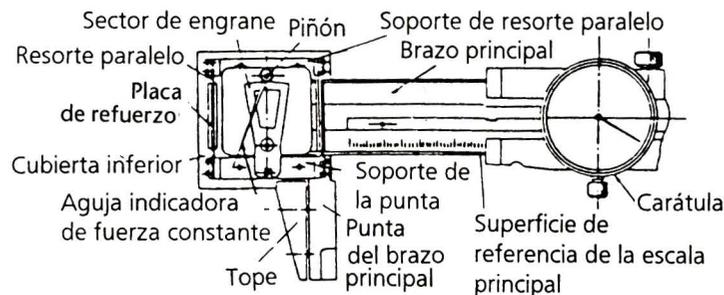


Figura 7.22.

La punta de medición del brazo principal está sujeta mediante un extremo de los resortes paralelos, el otro extremo de éstos está fijado al brazo principal. Cuando la pieza toca la punta de medición ésta se desplaza un poco.

El movimiento de la punta de medición lo transmite un perno conector que está sujeto a la punta y al sector de engrane que gira al piñón. Cuando la aguja indicadora —que está sujeta al piñón— señala las líneas indicadoras sobre la carátula, una fuerza de medición constante predeterminada es aplicada a la pieza para medirla con exactitud.

La operación de medición es como sigue: ajuste suavemente el cursor, girando el rodillo para el pulgar en la misma forma que para los calibradores de carátula ordinarios. Ponga las puntas de medición en contacto con la pieza y continúe girando el rodillo hasta que la aguja del instrumento quede entre las líneas índice. Entonces lea la medición.

La tabla 7.3 proporciona las especificaciones del calibrador de carátula con fuerza constante.

Tabla 7.3.

Rango de medición	0-180 mm
Lectura mínima	0.05 mm
Método de lectura	Carátula
Fuerza de medición	0.5 N-1N (50-100 gf)
Máximo desplazamiento de la punta de medición móvil	0-2 mm
Movimiento del cursor	Mediante rodillo

Calibrador vernier con punta desigual para medir la distancia entre centros de agujeros

Este calibrador tiene puntas de medición cónicas (ángulos de cono 40°) para medir las distancias entre centros de agujeros cuyos diámetros sean iguales o diferentes, entre agujeros sobre superficies diferentes —sobre una pieza escalonada— y la distancia desde una superficie al centro de un agujero (Fig. 7.23).

Los rangos de medición disponibles son 10-150 mm, 10-200 mm y 10-300 mm.

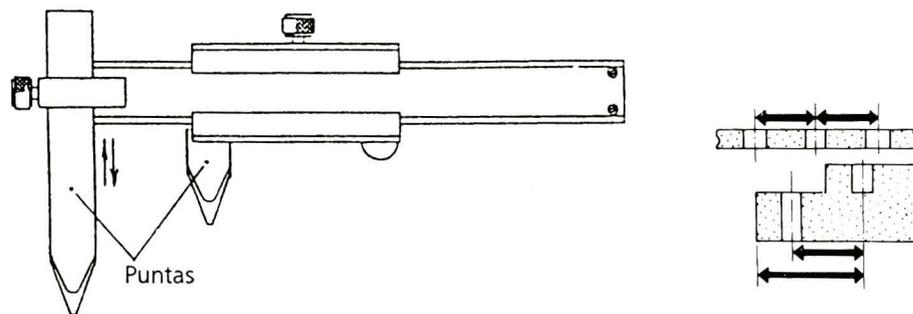


Figura 7.23.

Calibrador con vernier con puntas paralelas para mediciones de profundidad hasta de 32 mm. (Fig. 7.24).

Escalada de vernier: 0.05 mm

Rango de medición: 0-150 mm

Calibrador con vernier con puntas cónicas (Fig. 7.25).

Viene con barra de profundidad

Rango de medición: 0-150 mm

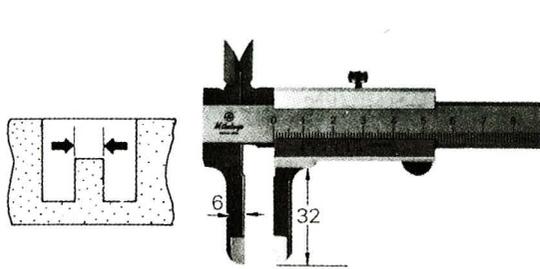


Figura 7.24.

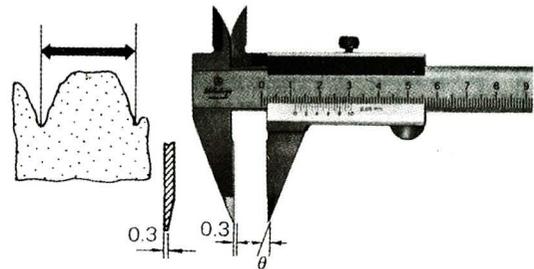


Figura 7.25.

Calibrador con vernier con puntas en cuchilla para mediciones en ranuras estrechas (Fig. 7.26)

Cuenta con barra de profundidad y un recubrimiento de carburo de tungsteno en las caras de medición de exteriores.

Escala de vernier: 0.05 mm

Rango de medición: 150 mm, 200 mm, 300 mm.

Calibrador con vernier para tubos (Fig. 7.27)

Viene con punta fija tipo cilindro para medición de tubería con diámetro interior mayor de 3 mm.

Escala de vernier: 0.05 mm

Rango de medición: 0-250 mm

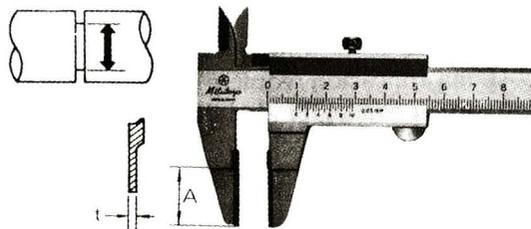


Figura 7.26.

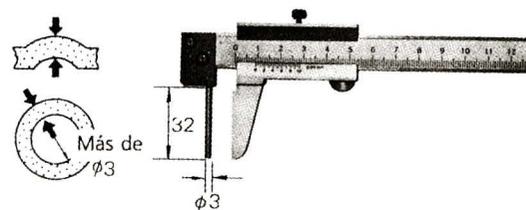


Figura 7.27.

Calibrador con vernier con puntas en gancho (Fig. 7.28) para medir el ancho de ranuras en perforaciones de más de 30 mm.

Escala de vernier: 0.05 mm

Rango de medición: exteriores 0-200 mm,
interiores 10-200 mm

Calibrador con vernier para ranuras, útil en la medición del ancho de la ranura dentro de perforaciones de más de 30 mm de diámetro (Fig. 7.29).

Escala de vernier: 0.05 mm

Rango de medición: exteriores 0-200 mm;
interiores 2-200 mm.

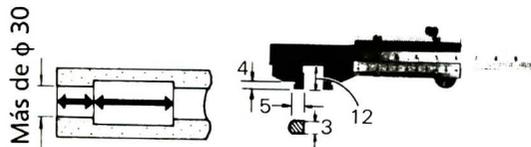


Figura 7.28.

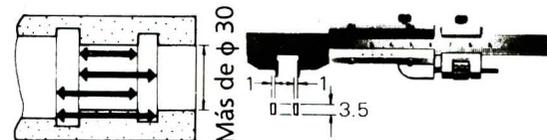


Figura 7.29.

Mantenimiento de calibradores

Aunque los calibradores con frecuencia se utilizan en condiciones ambientales hostiles, su mantenimiento tiende a descuidarse debido a lo simple de su construcción y bajos requerimientos de exactitud. Con el objeto de obtener el mejor rendimiento posible de estos instrumentos, y asegurar su uso económico, es esencial realizar un efectivo control del mantenimiento. Como con otro tipo de instrumentos, los calibradores deberán tener reglas estandarizadas que regulen la compra, capacitación del personal, manejo, almacenaje, mantenimiento e inspección periódica.

Compra

Un efectivo método para controlar el mantenimiento de los instrumentos de medición, como los calibradores usados en el área productiva, es limitar la cantidad de ellos en el almacén de herramientas y el área productiva. Aunque los calibradores no son muy caros, no son desechables y no deben tratarse como tales. Cuando se compre un calibrador su vida útil debe considerarse. El tipo, tamaño y exactitud del calibrador deberá seleccionarse de acuerdo con su aplicación específica. Por ejemplo, si una aplicación requiere una legibilidad de 0.05 mm y se compra un calibrador vernier con legibilidad de 0.02 mm, esto no es económico porque incrementa el tiempo de inspección; además, los procedimientos de inspección deben estar normalizados cuando se realice la compra del calibrador.

Almacenamiento

Observe las siguientes precauciones cuando almacene calibradores:

- 1) Seleccione un lugar en el que los calibradores no estén expuestos a polvo, alta humedad o fluctuaciones extremas de temperatura.

- 2) Cuando almacene calibradores de gran tamaño que no sean utilizados con frecuencia, aplique líquido antioxidante al cursor y caras de medición; procure dejar éstas algo separadas.
- 3) Al menos una vez al mes, verifique las condiciones de almacenaje y el movimiento del cursor de calibradores que sean usados esporádicamente y, por tanto, mantenidos en el almacén.
- 4) Evite la entrada de vapores de productos químicos, como ácido hidroclorehídrico o ácido sulfúrico, al lugar en que estén almacenados los calibradores.
- 5) Coloque los calibradores de modo que el brazo principal no se flexione y el vernier no resulte dañado.
- 6) Mantenga un registro, con documentación adecuada, de los calibradores que salgan del almacén hacia el área productiva.
- 7) Designe a una persona como encargada de los calibradores que estén almacenados en cajas de herramientas y anaqueles dentro del área productiva.

Inspección periódica

La inspección periódica de los calibradores debe realizarse una o dos veces por año lo que depende de la frecuencia de uso. Es necesario poner en práctica métodos de control de inventario para prevenir el uso inadvertido de calibradores que requieren reparación o que ya no sirvan. Hay dos sistemas para realizar las inspecciones periódicas: uno es inspeccionar los calibradores en el lugar en que se emplean, el otro es recolectar todos los calibradores a ciertos intervalos e inspeccionarlos todos de una vez. Todo el personal que use calibradores debe estar informado acerca del sistema de inspección.

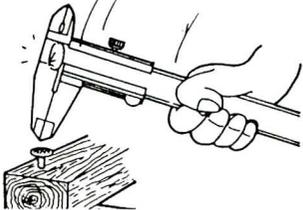
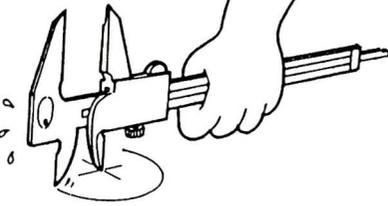
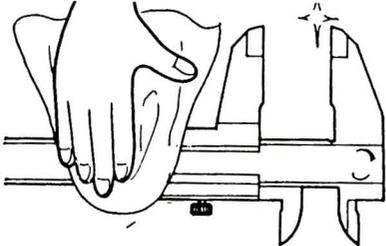
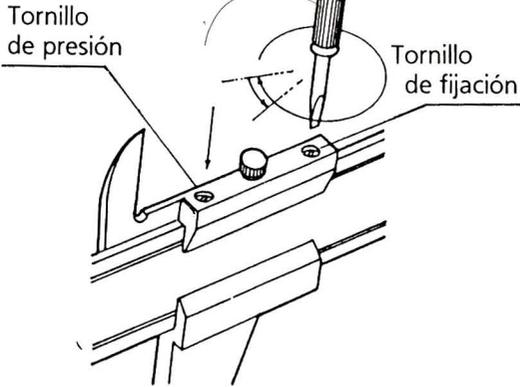
Precauciones durante la utilización de un calibrador

Observe las siguientes precauciones cuando utilice un calibrador:

- 1) Antes de tomar mediciones, elimine rebabas, polvo y rayones de la pieza.
- 2) Cuando mida, mueva lentamente el cursor mientras presiona con suavidad el botón para el pulgar contra el brazo principal.
- 3) Mida la pieza utilizando la parte de las puntas de medición más cercana al brazo principal.
- 4) No use una fuerza excesiva de medición cuando mida con los calibradores que emplean las mismas puntas de medición para interiores y exteriores, como el tipo CM.
- 5) Nunca trate de medir una pieza que esté en movimiento.
- 6) Después de utilizar un calibrador, límpielo y guárdelo con las puntas de medición ligeramente separadas.

Las figuras de las cuatro páginas siguientes ilustran algunos cuidados básicos de los calibradores con vernier, lo que refuerza lo antes mencionado.

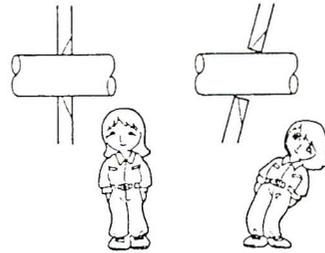
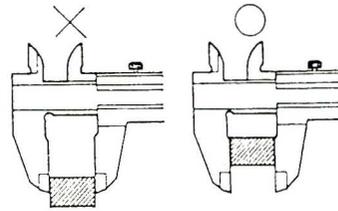
Precauciones cuando se mida con un calibrador

<p>1</p> <p>Seleccione el calibrador que mejor se ajuste a sus necesidades.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asegúrese de que el tipo, rango de medición, graduación y otras especificaciones del calibrador son apropiadas para la aplicación. 	
<p>2</p> <p>No aplique excesiva fuerza al calibrador.</p> <ul style="list-style-type: none"> • No deje caer ni golpee el calibrador. • No use el calibrador como martillo. 	
<p>3</p> <p>Sea cuidadoso y no dañe las puntas de medición para interiores.</p> <ul style="list-style-type: none"> • No use las puntas como un compás o rayador. 	
<p>4</p> <p>Elimine cualquier clase de polvo del calibrador antes de usarlo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpie totalmente las superficies deslizantes y las caras de contacto. Use sólo papel o tela que no desprenda pelusa. 	
<p>5</p> <p>Revise que el cursor se mueva suavemente. No debe sentirse flojo o con juego. Corrija cualquier problema que encuentre ajustando los tornillos de presión y de fijación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apriete los tornillos de presión y de fijación por completo, después afloje en sentido antihorario 1/8 de vuelta (45°). • Verifique nuevamente el juego. • Repita el procedimiento anterior mientras ajusta la posición angular de los tornillos hasta que no obtenga un juego apropiado del cursor. 	

6

Medición de exteriores.

- Mantenga y mida la pieza de trabajo en una posición tan cercana a la superficie de referencia como sea posible.
- Asegúrese de que las caras de medición exterior hagan contacto adecuado con la pieza por medir.

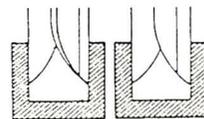
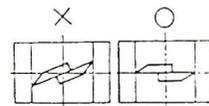
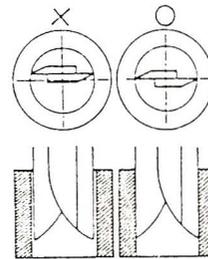
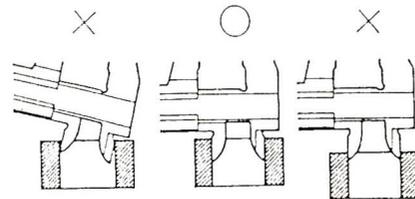


7

Medición de interiores.

Tome la medida cuando las puntas de medición de interiores estén tan adentro de la pieza como sea posible.

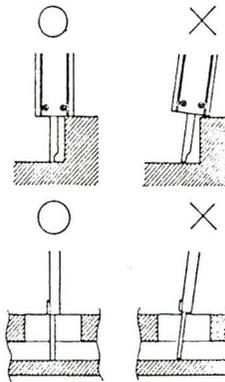
- Cuando mida un diámetro interior lea la escala mientras el valor indicado esté en su máximo.
- Cuando mida el ancho de una ranura, lea la escala mientras el valor indicado esté en su mínimo.



8

Medición de profundidad.

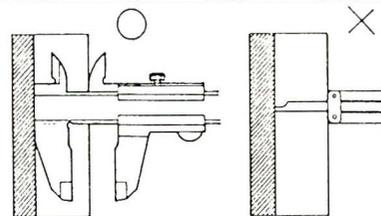
- Tome la medida cuando la cara inferior del cuerpo principal esté en contacto uniforme con la pieza de trabajo.



9

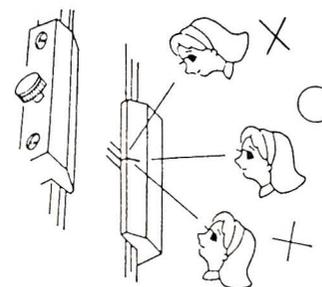
Medición de peldaño.

- Tome la medida cuando la superficie para medición de peldaño esté en contacto adecuado con la pieza por medir.



10

Evite el error de paralaje leyendo la escala directamente desde el frente.

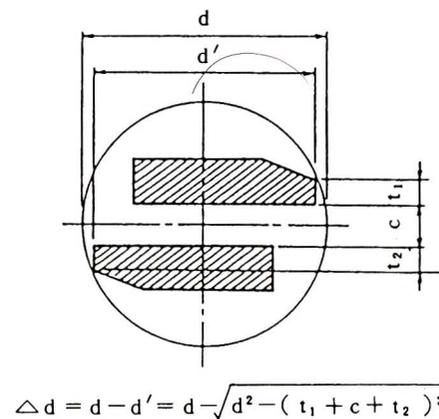


11

La medición de agujeros de diámetro pequeño normalmente proporciona lecturas menores que el diámetro real.

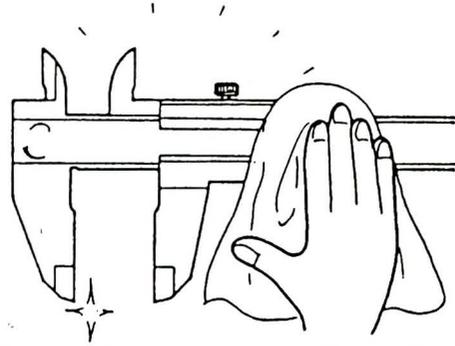
Error cuando se mide una pieza con un agujero cuyo diámetro es 5 mm:

Unidad: mm (pulg)			
$t_1 + t_2 + C$	0.3 (.001)	0.5 (.019)	0.7 (.027)
Δd	0.009 (.0003)	0.026 (.001)	0.047 (.002)



12

Después de usarlo, limpie las manchas y huellas digitales del calibrador con un trapo suave y seco.



13

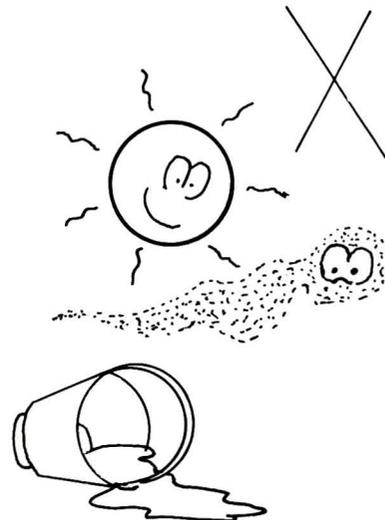
Cuando el calibrador sea almacenado por largos periodos o necesite aceite, use un trapo empapado con aceite para prevenir la oxidación y, ligeramente, frote cada sección del calibrador. Asegúrese de que el aceite se distribuye homogéneamente sobre las superficies.



14

Los siguientes puntos deberán tomarse en cuenta cuando se almacenan calibradores.

- No se exponga el calibrador a la luz directa del Sol.
- Almacene el calibrador en un ambiente de baja humedad bien ventilado.
- Almacene el calibrador en un ambiente libre de polvo.
- No coloque el calibrador directamente en el piso.
- Deje las caras de medición separadas de 0.2 a 2 mm (.008" a .08")
- No fije el cursor.
- Almacene el calibrador en su estuche original (o en una bolsa de plástico).



Errores de medición con calibradores

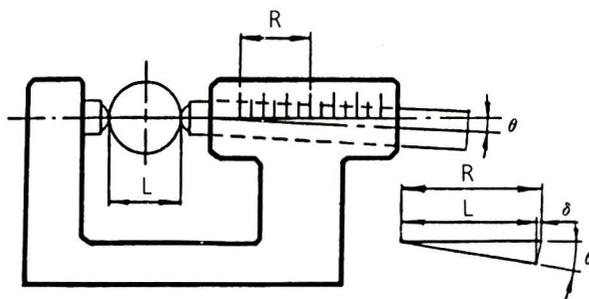
Los siguientes factores afectan la exactitud de medición con calibradores:

- 1) Error inherente a la construcción del calibrador.
- 2) Error de paralaje.
- 3) Condiciones ambientales y fuerza de medición.

Errores inherentes a la construcción de calibradores

Error de Abbe

En 1890 Ernst Abbe formalizó lo que se conoce como principio de Abbe, el cual establece que: "sólo puede obtenerse máxima exactitud cuando el eje de medición del instrumento está alineado con el eje del objeto que esté siendo medido". La construcción de los calibradores no cumple con el principio de Abbe. La figura 7.30 muestra un caso en el que las graduaciones de la escala principal están sobre la extensión de la línea de medición. El diámetro L de la pieza es medido como R sobre el calibrador. Si el eje del husillo forma un ángulo con la línea de la medición, el error en ésta se calcula como sigue:



$$L - R = -\delta$$

$$L = R \cos\theta$$

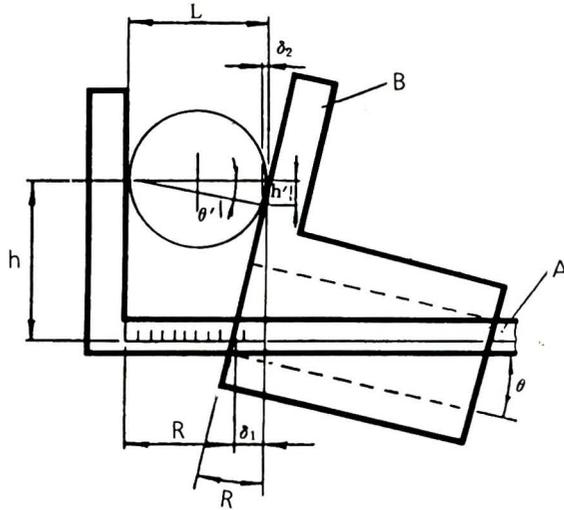
$$R = \frac{L}{\cos\theta} \approx L \left(1 + \frac{\theta^2}{2}\right)$$

$$\therefore \delta = -L + L \left(1 + \frac{\theta^2}{2}\right) = \frac{1}{2} L \theta^2$$

Figura 7.30.

Así, mientras el principio de Abbe sea cumplido, el error de medición, δ , es despreciable en muchos casos, dado que el valor θ^2 es muy pequeño.

La figura 7.31 muestra una medición realizada con un calibrador. La pieza es colocada entre las puntas de medición sobre una línea a una distancia h desde la escala principal A . Suponga que la punta B está inclinada en ángulo θ debido al ajuste con juego entre el cursor y el brazo principal, y que el diámetro L de la pieza es leído como R sobre la escala principal. Note que el valor R incluye un error adicional δ_2 que surge debido a que la punta B toca la pieza en un punto que está a una distancia h' abajo del diámetro que va a medirse. Así, el error en esta medición se calcula como:



$$L = R + \delta_1 + \delta_2$$

donde

$$\delta_1 = (h - h') \tan \theta = (h - h') \theta$$

$$h' = L \theta$$

$$\delta_2 = L (1 - \cos \theta) = L \frac{\theta^2}{2}$$

$$\therefore L = R + (h - L \theta) \theta + \frac{1}{2} L \theta^2$$

$$L - R = h \theta - \frac{1}{2} L \theta^2$$

Figura 7.31.

Mientras el valor θ sea pequeño, el valor θ^2 puede ignorarse, por lo tanto, el error de la medición puede expresarse, aproximadamente, como:

$$L - R \approx h \theta$$

Esto significa que (1), con el objeto de incrementar la exactitud de la medición con calibrador el ajuste con juego entre el cursor y el brazo principal debe minimizarse para hacer el ángulo θ pequeño y (2) la pieza debe medirse en una posición tan cercana a la escala principal como sea posible.

Error causado por flexión del brazo principal

El brazo de la escala principal puede flexionarse en dos direcciones, lo que afecta la exactitud de la medición.

- 1) Flexión a lo largo de la superficie de referencia.
- 2) Flexión a lo largo de la superficie graduada.

Flexión a lo largo de la superficie de referencia

Como lo muestra la figura 7.32, habrá un error de medición si la superficie de referencia de la escala principal (la superficie que sirve como referencia para guiar el cursor) se flexiona.

Este error puede expresarse mediante la fórmula para determinar el error de Abbe, como sigue:

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

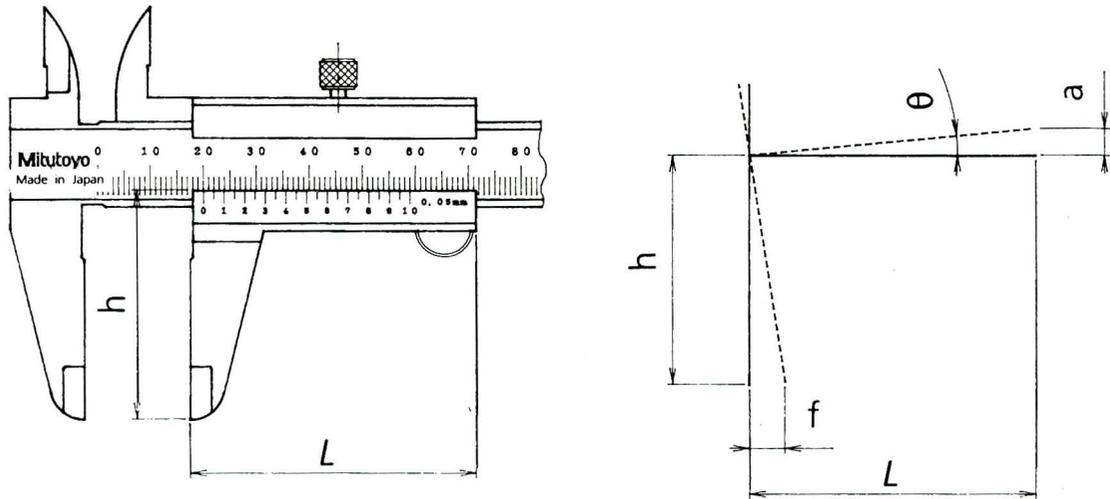


Figura 7.32.

Flexión a lo largo de la superficie graduada

La flexión de la superficie sobre la que está graduada la escala principal también causa errores de medición. En este caso, la longitud de arco l_2 es obtenida en lugar de la longitud lineal requerida L , como lo muestra la figura 7.33. El error resultante E está dado como:

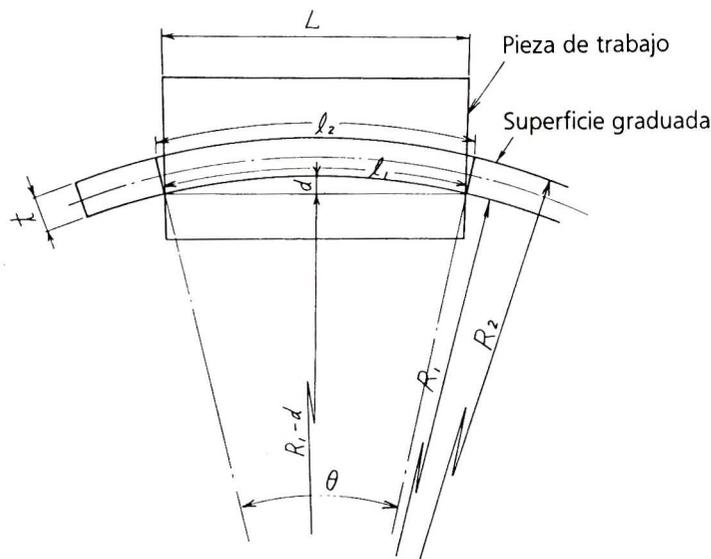


Figura 7.33.

$$E = l_2 - L$$

$$(R_1 - d) \tan \frac{\theta}{2} = \frac{L}{2}$$

$$R_1 = \frac{d^2 + (L/2)^2}{2d}$$

$$R_2 = R_1 + t$$

$$l_2 = R_2 \theta = (R_1 + t) \theta$$

Ejemplo. Si el error de rectitud del movimiento del cursor que causa una flexión de la superficie de referencia es 0.010 mm/50 mm y una dimensión de 50 mm se mide por el extremo de unas puntas de medición de exteriores de 40 mm de longitud, el error resultante E es obtenido como sigue.

$$E = 40 \text{ mm} \times 0.01 + 50 = 0.008 \text{ mm}$$

Así, una superficie de referencia flexionada, resultado de manejo descuidado o uso inapropiado, así como el desgaste de la superficie de referencia afectan significativamente la exactitud de la medición. La medición con calibradores de gran tamaño o puntas de medición largas requieren especial consideración al sostener el calibrador (por ejemplo, deberá sostenerse tan cerca como sea posible de los puntos Bessel).

Ejemplo. Si la flexión a lo largo de la superficie graduada es 0.05 mm/50 mm y una dimensión de 50 mm se mide con un calibrador que tiene un espesor de brazo principal de 3 mm, el error resultante E es obtenido como sigue:

$$(L = 50 \text{ mm } d = 0.05 \text{ mm } t = 3 \text{ mm})$$

$$R_1 = 6250 \text{ mm } R_2 = 6253 \text{ mm } \theta = 0.008 \text{ (rad)}$$

$$l_2 = 50.024 \text{ mm}$$

$$\therefore E = l_2 - L = 0.024 \text{ mm}$$

Cuando las fórmulas son aplicadas a la superficie neutra del brazo principal, el error se calcula y resulta de 0.012 mm.

Los cálculos muestran que una flexión de la escala graduada es menos significativa y, por tanto, menos propensa a causar un error de medición que una flexión de la superficie de referencia. Sin embargo, es necesario tener cuidado, ya que la escala principal es más propensa a flexionarse o deformarse a lo largo de la superficie graduada debido a manejo descuidado.

Desgaste de las puntas de medición

Las puntas de medición de los calibradores tipo M tienen un chaflán, por lo que se tiene una superficie de medición pequeña (para medición en ranuras angostas) que está sujeta a gran desgaste. Con el objeto de minimizarlo, use la porción de las puntas más cercana a la escala principal, siempre que sea posible.

Errores en la medición de diámetros interiores

Las mediciones hechas con calibradores tipo M que miden diámetros interiores con las puntas de medición correspondientes, involucran errores inherentes al diseño de las puntas. Estos errores son más significativos cuando se miden agujeros pequeños. En esta medición, la dimensión d_1 es obtenida en lugar de la

dimensión real d , como lo muestra la figura 7.34; en este caso los espesores t_1 y t_2 de las puntas de medición de interiores y la distancia c entre la punta del brazo principal y la punta del cursor afectan mucho la exactitud de la medición.

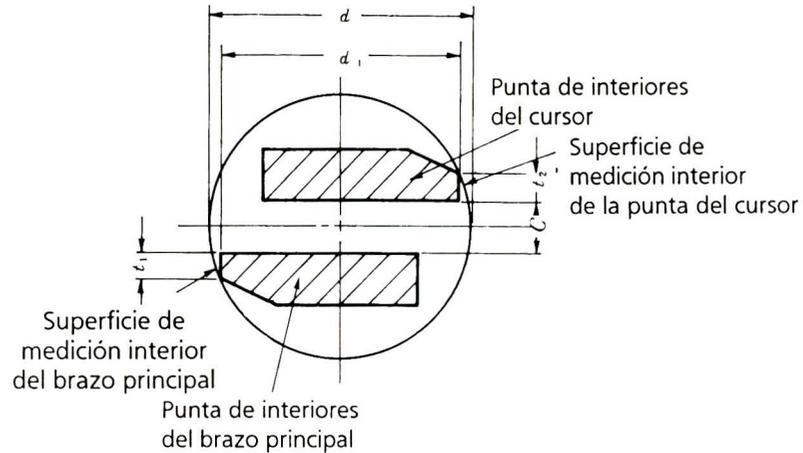


Figura 7.34.

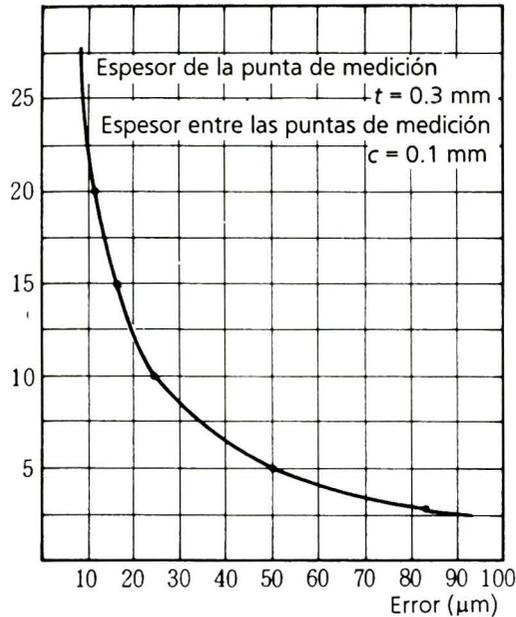
La tabla 7.3 muestra los errores calculados para diferentes valores de B ($B = t_1 + t_2 + c$), entre 0.3 mm y 0.7 mm en incrementos de 0.1 mm.

Tabla 7.3

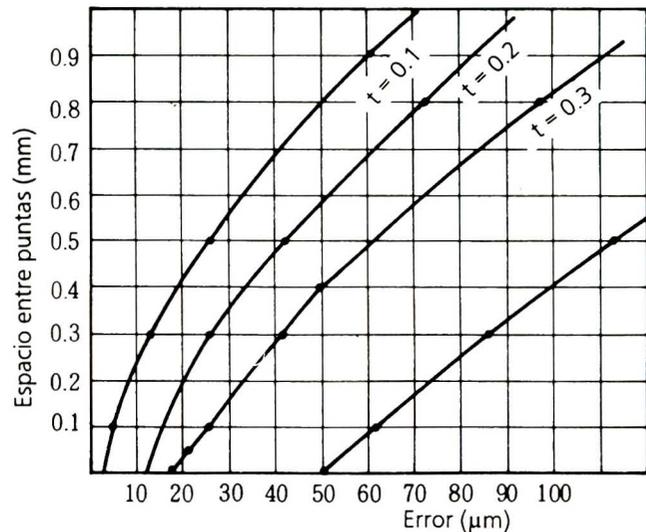
Diámetro del agujero	Corrimiento desde la línea central del agujero B ($B = t_1 + t_2 + c$)				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
1.5	0.030	0.050	0.090	0.12	0.17
2	0.023	0.041	0.060	0.09	0.13
2.5	0.018	0.032	0.050	0.07	0.10
3	0.015	0.027	0.042	0.06	0.08
3.5	0.013	0.023	0.036	0.05	0.07
4	0.011	0.020	0.031	0.045	0.06
4.5	0.010	0.017	0.028	0.038	0.05
5	0.009	0.014	0.026	0.033	0.047
6	0.008	0.013	0.021	0.029	0.041
7	0.007	0.011	0.018	0.026	0.036
8	0.007	0.010	0.016	0.023	0.033
9	0.006	0.009	0.013	0.020	0.028
10	0.005	0.008	0.012	0.017	0.023

La gráfica 7.1 muestra una curva de error cuando B es constante (0.7 mm).

La gráfica 7.2 muestra curvas de error, con referencia a diferentes distancias y espesores, cuando un diámetro de agujero de 10 mm es medido.



Gráfica 7.1.



Gráfica 7.2

Lectura del vernier y paralaje

Los siguientes factores pueden producir errores en la lectura de escalas vernier.

- 1) Error de graduación (un componente de error instrumental).
- 2) La habilidad del ojo para reconocer el alineamiento de dos graduaciones.
- 3) Paralaje.

La habilidad del ojo para reconocer el alineamiento de dos graduaciones

La escala de los calibradores vernier debe leerla el ojo humano. Existen tres aspectos que afectan su habilidad para leer escalas: poder de reconocimiento, agudeza visual y poder de resolución.

El poder de reconocimiento es la habilidad para reconocer la forma de un objeto (múltiples celdas visuales son estimuladas).

La agudeza visual es la agilidad de percibir la existencia de un objeto sin identificación de forma (una sola celda visual es estimulada). El poder de

resolución es la habilidad para distinguir dos objetos próximos entre sí como dos objetos separados (esto está más cercanamente relacionado con la medición).

Poder de resolución del ojo

Las lentes del ojo enfocan inconscientemente. Cuando un objeto es puesto en foco a la distancia de la visión distinta (250 mm), la distancia desde la lente a la retina es, aproximadamente, 15.5 mm (Fig. 7.35).

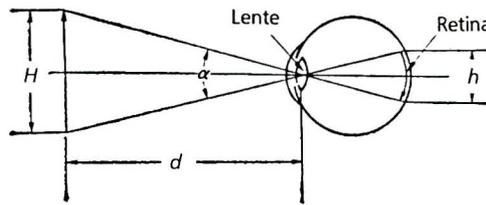


Figura 7.35. Estructura del ojo.

Como se mencionó, la habilidad del ojo para distinguir dos puntos o líneas que están una con otra se denomina poder de resolución. E. Hering, fisiólogo y sicólogo alemán explicó el poder de resolución del ojo humano a partir de su estructura. Para que el ojo humano pueda distinguir dos puntos separados, ambos deben estar más separados que la distancia entre las celdas visuales estimuladas que detectan los puntos. Hay cuando menos una celda que no es estimulada. Para satisfacer esta condición, en la figura 7.36 se requiere la distancia h . El tamaño promedio de las celdas localizadas cerca del centro de la retina es, aproximadamente, $5 \mu\text{m}$. Esto corresponde a un ángulo visual de un minuto, lo cual es equivalente a 0.06 mm a la distancia de la visión distinta.

Las mediciones hechas con calibrador se leen donde se alinea una graduación de la escala principal con una de la escala vernier. La habilidad para

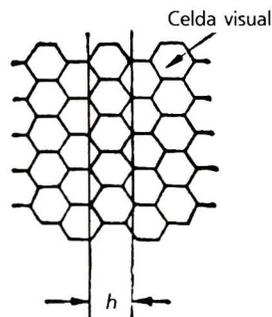


Figura 7.36.

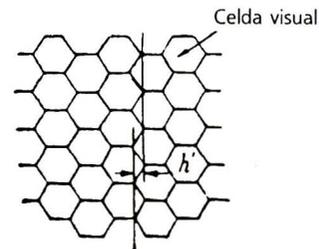


Figura 7.37.

reconocer si dos líneas próximas están alineadas o no es denominada poder de reconocimiento de dos líneas alineadas, la relación entre la distancia h' en la figura 7.37 y la distancia h de la figura 7.32 es $h = 2\sqrt{3} h'$; así, la distancia h' es calculada encontrándose entre 0.012 y 0.017 mm para objetos que estén a la distancia de la visión distinta. Esto explica por qué los calibradores con vernier permiten una lectura de 0.02 mm. Por tanto, el poder de reconocimiento del alineamiento de dos líneas, o agudeza vernier, es superior al poder de resolución del ojo.

Datos experimentales sobre el poder de reconocimiento de dos líneas alineadas

En 1960, W. Moser, en su reporte enviado a Microtechnic, aseguró que un alineamiento simple de dos líneas (como en una lectura con vernier) puede reconocerse con una exactitud de 0.02 mm, (véase Fig. 7.38 y tabla 7.4).

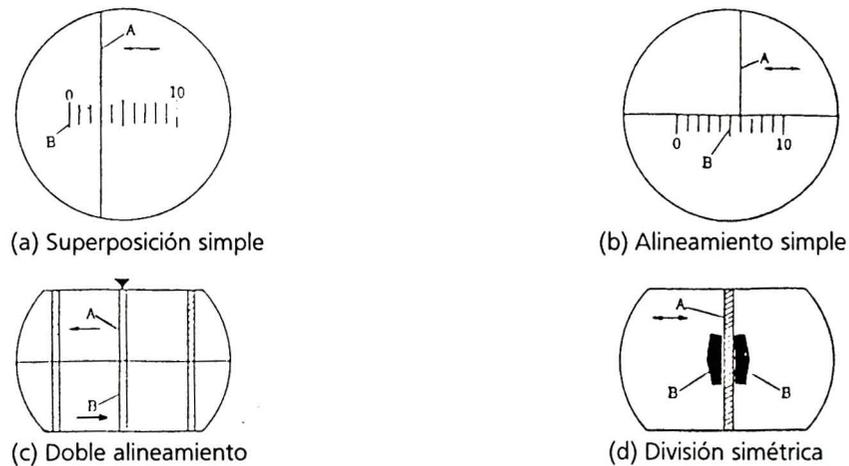


Figura 7.38.

Tabla 7.4. Poder de reconocimiento de alineamiento (por W. Moser)

	En la Fig 7.38	Poder de reconocimiento de alineamiento a la distancia de la visión distinta		Amplificación requerida para exactitudes especificadas de medición	
		s	Longitud (μm)	0.001 mm	0.01 mm
Superposición simple	a	±63	±80	80	8
Alineamiento simple	b	±16	±20	20	2
Doble alineamiento	c	±8	±10	10	1
División simétrica	d	±5	±6.5	6.5	0.65

Error de paralaje

Normalmente, las graduaciones de la escala principal y la escala vernier de un calibrador no están en el mismo plano, por lo que pueden ocurrir errores de paralaje al tratar de determinar cuáles graduaciones coinciden.

En la figura 7.39 consideramos el error de paralaje cuando hay una diferencia de altura, h , entre la superficie graduada del brazo principal y el borde graduado del vernier. Si los ojos están en la posición A'' , la cual está justamente arriba de las graduaciones coincidentes, no ocurrirá el error de paralaje.

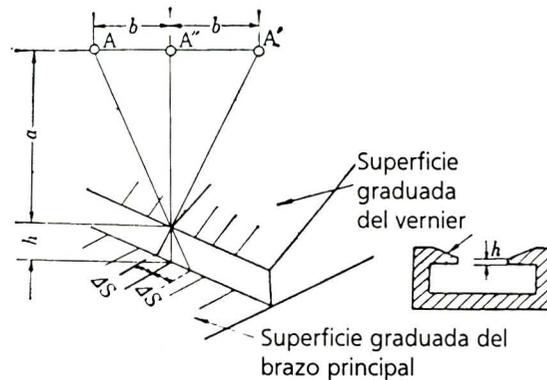


Figura 7.39.

Sin embargo, la posición del ojo es normalmente corrida —a la izquierda o a la derecha—, cuando se toma la medición con un ojo cerrado. Adicionalmente, mucha gente tiene diferentes agudezas visuales entre los ojos izquierdo y derecho. Por estas razones, un error de paralaje tiende a ocurrir. Refiriéndonos a la figura 7.39, el error de paralaje, ΔS , está dado mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta S = \frac{bh}{a}$$

Esto indica que entre menor sea el valor h , menor es el error de paralaje. Sin embargo, el valor h está limitado por la construcción del calibrador. También es difícil posicionar los ojos exactamente sobre las graduaciones coincidentes. Si las graduaciones son vistas a la distancia de la visión distinta (250 mm) —asumiendo que la distancia entre ambos ojos es de 60 mm y la diferencia en altura entre la escala vernier y la escala principal es 0.2 mm— entonces el error de paralaje se calcula como sigue:

$$(b = 30 \text{ mm} \quad h = 0.2 \text{ mm} \quad a = 250 \text{ mm})$$

$$\Delta S = 0.024 \text{ mm}$$

Este cálculo supone que la cara está posicionada directamente sobre el calibrador. El error de paralaje será mayor cuando la cara sea recorrida en cualquier dirección, pero puede minimizarse con la experiencia.

Expansión térmica

Los objetos se expanden o contraen con los cambios de temperatura. Las longitudes de los objetos son determinadas a la temperatura estándar, internacionalmente aceptada, de 20°C. Si los coeficientes de expansión térmica y las temperaturas de la pieza por medir son los mismos no habrá un error en la medición aunque la medición sea tomada a una temperatura diferente a 20 °C.

Si existe una diferencia de temperatura, Δt , entre el calibrador y la pieza, el error de medición f estará dado por la siguiente fórmula:

$$f = \Delta t \times \alpha \times L$$

Donde:

α = coeficiente de expansión térmica (/°C)

L = longitud medida

Si el coeficiente de expansión térmica del calibrador y la pieza son diferentes, y no hay diferencia de temperatura entre los dos, se aplica la siguiente fórmula:

$$f = (t - 20^\circ\text{C})(\alpha_1 - \alpha_2)L$$

Donde:

t = temperatura °C

α_1 = coeficiente de expansión térmica de la pieza

α_2 = coeficiente de expansión térmica del calibrador

Si el coeficiente de expansión térmica y las temperaturas son diferentes, se aplica la siguiente fórmula:

$$f = \{(t_1 - 20^\circ\text{C}) \alpha_1 - (t_2 - 20^\circ\text{C}) \alpha_2\}L$$

Donde

t_1 = temperatura de la pieza

t_2 = temperatura del calibrador

Ejemplo. Considere el caso en el que una parte de bronce es medida en un área productiva donde la temperatura es muy alta y, considerando que la temperatura del calibrador y la pieza son la misma.

Si tenemos:

$$t = 35^{\circ}\text{C}, \alpha_1 = 18.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}, \alpha_2 = 11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C},$$

$$L = 380 \text{ mm}$$

Entonces:

$$f = 15 \times (18.5 - 11.5) \times 10^{-6} \times 380 \text{ mm} = 0.04 \text{ mm}$$

Para evitar errores causados por la temperatura en medición ordinaria, consideraciones normales serán suficientes. Por ejemplo, minimizar la diferencia de temperatura entre el calibrador y la pieza y evitar temperaturas apreciablemente altas o bajas cuando se midan piezas de materiales no ferrosos.

Fuerza de medición

A diferencia de los micrómetros, los calibradores vernier no están provistos con un mecanismo que asegure una fuerza de medición constante. Por tanto, la fuerza de medición variará cada vez que se utilice el calibrador (especialmente con diferentes usuarios).

El grado de suavidad del movimiento del cursor a lo largo del brazo principal afecta mucho la fuerza de medición de un calibrador. Cuando se estén midiendo piezas utilizando un calibrador, será necesario mantenerlas entre las puntas de medición con una cierta fuerza. Los dedos del usuario mantienen el cursor con una fuerza, Q , que es la suma de las fuerzas P y R , las cuales son ejercidas sobre la pieza por las puntas de medición y la fricción que existe entre el cursor y el brazo principal, respectivamente ($Q = P + R$).

Hay un espacio entre las superficies deslizantes del brazo principal y la del cursor en el que se instala la cuña flexible (típicamente de bronce fosforado) (Fig. 7.57). Si las puntas de medición aplican una fuerza excesiva a la pieza, el resorte se flexionará y provocará que la punta de medición del cursor gire y cause un error de medición. Las siguientes preocupaciones deben tomarse para minimizar errores.

- 1) El cursor debe moverse suavemente
- 2) No aplique una fuerza excesiva de medición
- 3) Mida la pieza utilizando la porción de las puntas de medición más cercana a la escala principal.

CALIBRADORES DE CARÁTULA

Introducción

Debido al mecanismo del indicador basado en cremallera y piñón, el calibrador de carátula ofrece lecturas fáciles; pero, al mismo tiempo, esta característica requiere poner una atención especial en su manejo, que no se requiere en el de los calibradores de vernier.

El fin de la siguiente información es ayudar al usuario a utilizar mejor todas las ventajas posibles del calibrador de carátula.

La figura 7.40 muestra la nomenclatura para los calibradores de carátula mientras que la tabla 7.5 muestra los diferentes tipos de graduaciones para calibradores de este tipo.

La figura 7.41 ilustra los cinco diferentes tipos de graduaciones para las carátulas incluidas en la tabla 7.5.

Como se observa en la figura 7.40, una cremallera se sujeta a la ranura de la barra principal. Debe notarse que cuando se emplean los tipos 2 y 5, la cremallera está sujeta al lado superior de la ranura para eliminar la rotación inversa de la aguja indicadora.

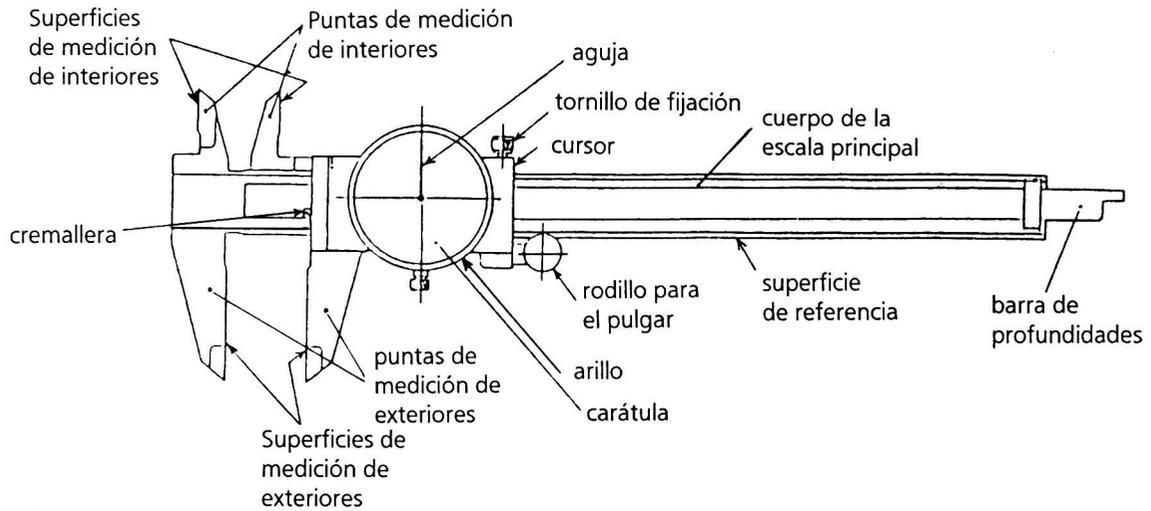


Figura 7.40.

Tabla 7.5.

Métrico			Inglés		
División	Graduaciones en la carátula	Desplazamiento x Revolución	División	Graduaciones en la carátula	Desplazamiento x Revolución
0.05 mm	100 divisiones alrededor de la circunferencia	5 mm/rev.	.001 pulg	100 divisiones alrededor de la circunferencia	.1 pulg/rev
0.02 mm	100 divisiones alrededor de la circunferencia	2 mm/rev	.001 pulg	200 divisiones alrededor de la circunferencia	.2 pulg/rev
0.01 mm	100 divisiones alrededor de la circunferencia	1 mm/rev			

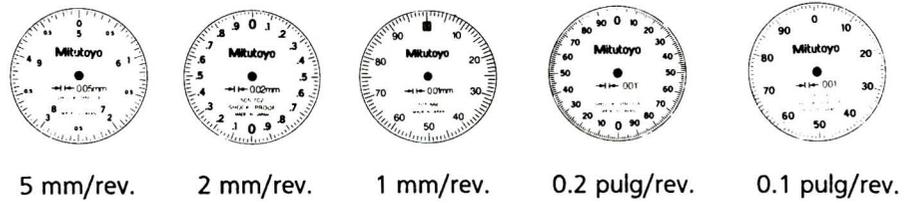


Figura 7.41

La figura 7.42 muestra el mecanismo con el cual el piñón, ajustado a la cremallera al trabajar hace girar la aguja indicadora.

El juego entre los dientes en el montaje de la cremallera y el piñón, es presionado contra la cremallera por el muelle plano llamado chumacera. Las mediciones son siempre estables debido a que es un mecanismo libre de juego entre los dientes.

La figura 7.44 nos muestra el mecanismo del tren de engranes.

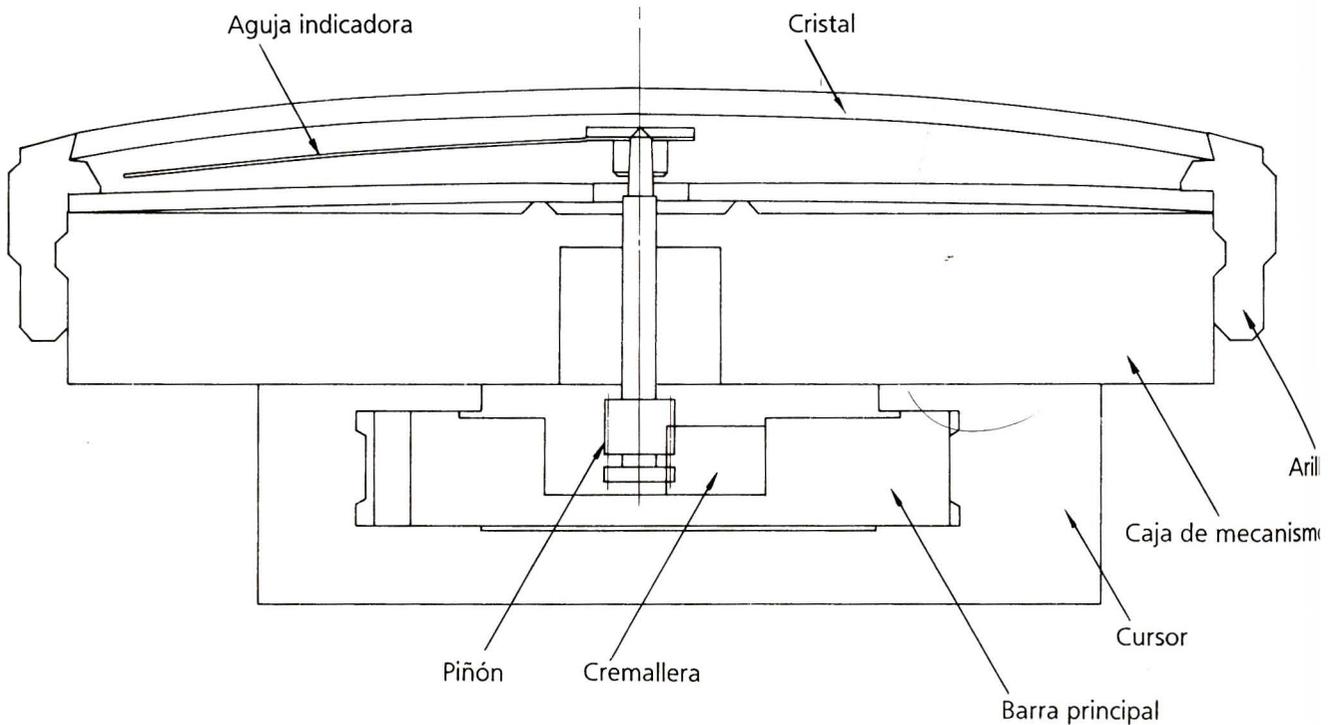


Figura 7.42. Construcción del indicador de carátula.

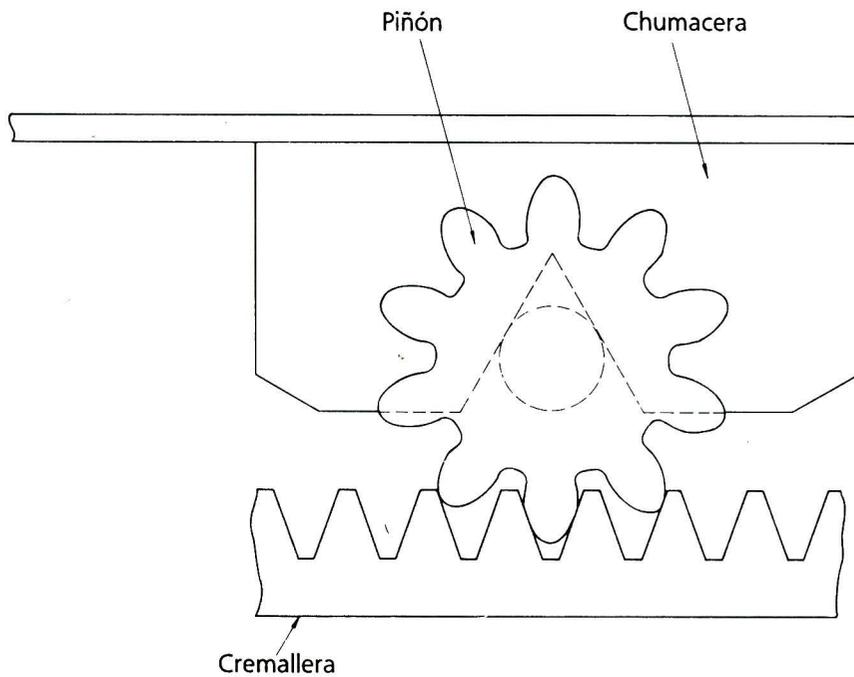


Figura 7.43. Mecanismos de eliminación de juego entre dientes.

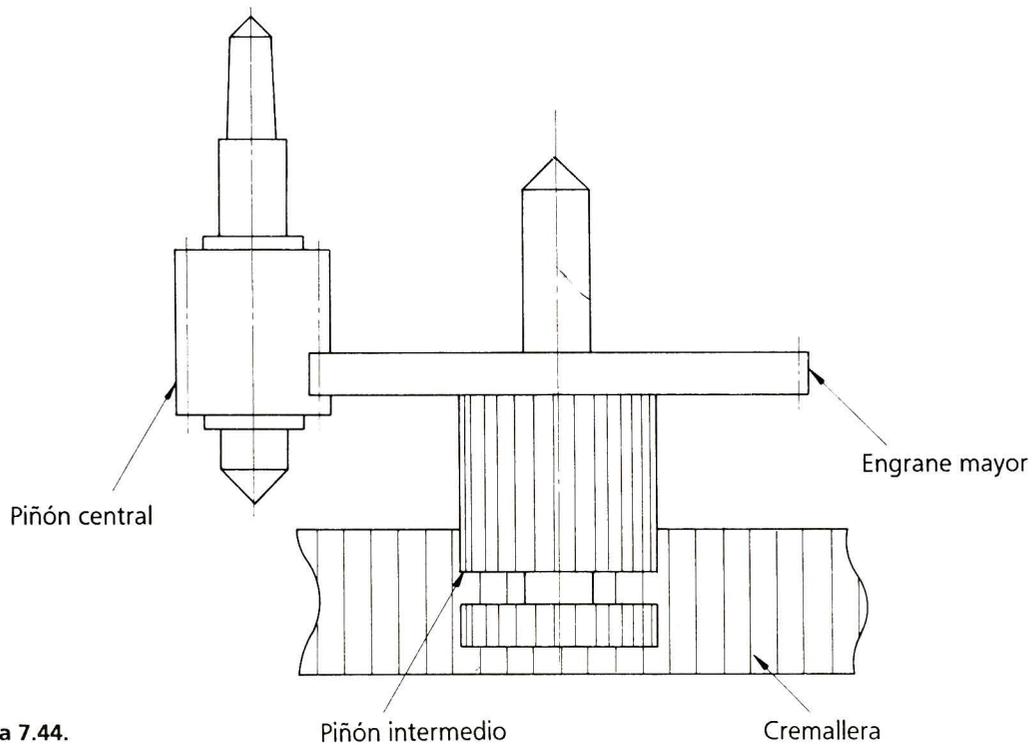


Figura 7.44.

La rotación del piñón intermedio ajustado sobre la cremallera es transferida al piñón central (eje de la aguja) por medio de un engrane mayor sujeto al piñón intermedio.

Juego entre dientes

El juego entre dientes de la cremallera y el piñón intermedio

La presión del piñón sobre la cremallera elimina este juego entre dientes por medio del muelle llamado chumacera de ranuras V.

Juego entre dientes del engrane mayor con el piñón central

En la figura 7.45 el engrane II, está unido al mismo eje del engrane I y puede girar independientemente del engrane I. Ambos engranes, I y II, están unidos al piñón central y con un resorte entre ellos, como lo muestra el dibujo.

Debido a este mecanismo, el engrane I siempre está presionado en la misma dirección y hace que el piñón central esté libre entre engranes.

Características del mecanismo

Alto grado de exactitud por un ajuste positivo entre el piñón y la cremallera

Estando presionado entre la cremallera y los cortes ranurados en V del muelle, el piñón intermedio podrá mantener un ajuste exacto con la cremallera y correr a lo largo, y perfectamente, en la rectitud de la cremallera, como lo muestra la figura 7.46, lo que da medidas exactas en concordancia con el paso de la cremallera.

Por el contrario, el dibujo (B) en la figura 7.46 muestra el caso en el que el piñón intermedio se desplaza en línea recta a lo largo de la superficie de referencia de la barra de la escala principal, la cual es la guía del cursor, independientemente de la rectitud de la cremallera.

En este mecanismo, el piñón puede fallar al girar sobre la cremallera, y provocar errores en las mediciones.

La manera en que el piñón sigue o no a la cremallera es de gran importancia cuando se considera la exactitud en las medidas. Brevemente, la exactitud para el calibrador de carátula del mecanismo del tipo (A) es mayor en un 40-50% respecto de calibradores del mismo tipo (B).

El ajuste a cero es posible

Se puede prever que debido al tren de engranaje entre el piñón y la cremallera puede desplazarse la aguja del cero de la carátula.

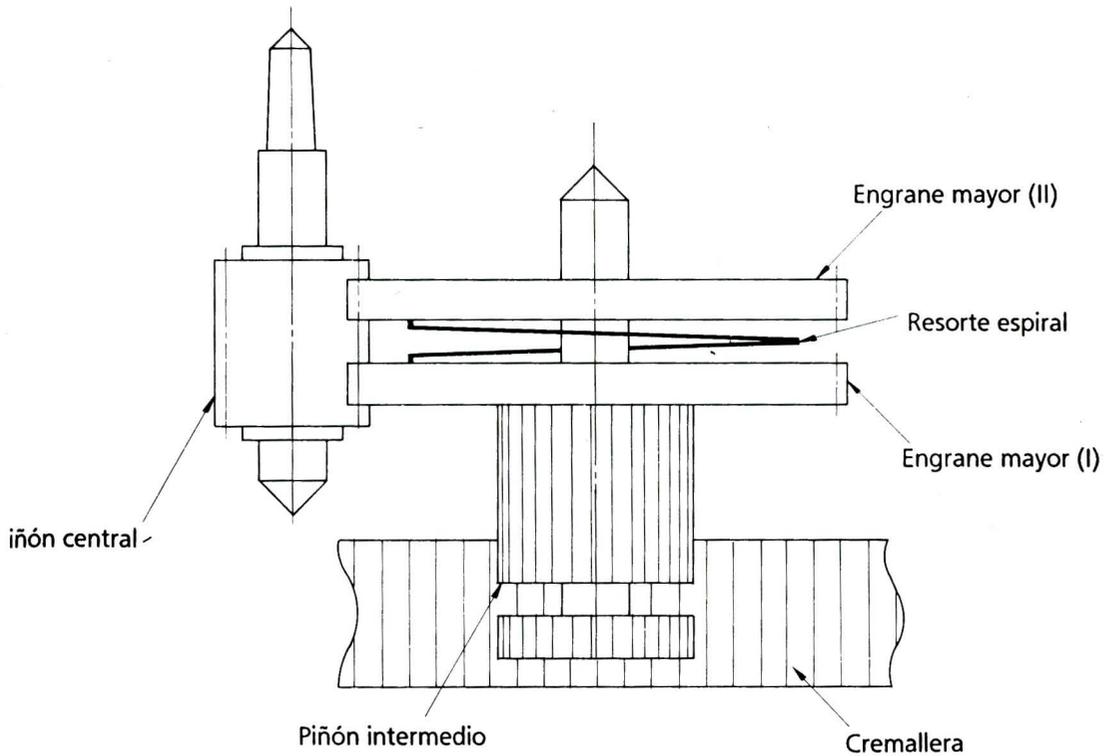


Figura 7.45. Mecanismo de eliminación del juego entre dientes.

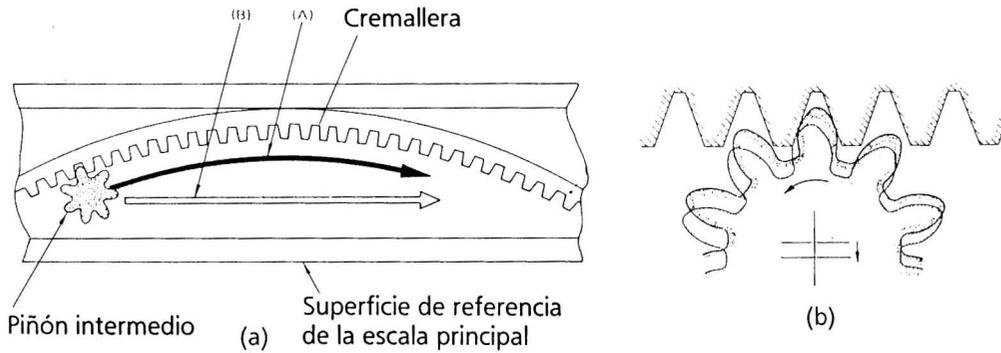


Figura 7.46. Representación exagerada del movimiento del piñón.

A. Causas del desplazamiento de la aguja

Las siguientes dos posibilidades son las principales causas del desplazamiento de la aguja.

1. Pérdida de presión del ajuste de la aguja sobre el ensamble al eje del piñón, lo que causa holgura entre el mecanismo y la aguja.
2. Rebabas o polvo en los dientes pueden provocar que el piñón salte los dientes de la cremallera, lo que provoca un desplazamiento de la aguja.

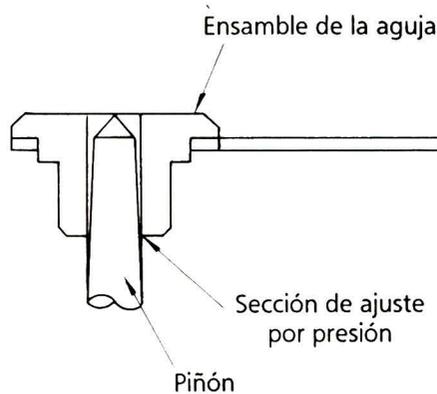


Figura 7.47.

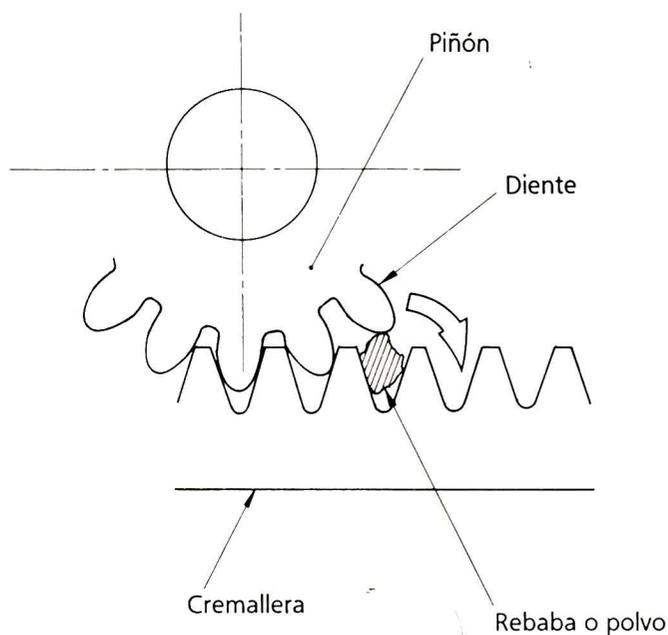


Figura 7.48.

En el caso (2) la rebaba en los dientes de la cremallera obstruye la rotación normal de los dientes del piñón, lo que produce ruido o vibración al pasar por este punto.

En este caso, al mover el cursor suavemente a lo largo del recorrido podrá localizarse la falla por el ruido o la vibración que produce. Sin embargo, si la rebaba ya ha sido separada del diente, no se notará ni ruido ni vibración en el cursor, pero la aguja permanecerá desplazada del cero.

Cuando la rebaba se encuentra en algún diente del piñón, el ruido o la vibración ocurrirá a ciertos intervalos, cuando se mueve suavemente el cursor.

En el caso (1) no se observarán los fenómenos anteriores, pero cuando las puntas de medición del calibrador sean cerradas abruptamente, la aguja se desplazará cada vez que se cierran las puntas.

B. Cómo hacer el ajuste

En el caso (1), quitar el arillo (véase Fig. 7.62) y fijar la aguja por presión. Al presionar, aplicar la fuerza gradualmente; si se aplica una fuerza excesiva podría dañarse el piñón u otro mecanismo.

En el caso (2), eliminar la *rebaba* de los dientes, si es que la tiene, sacudiendo con un cepillo limpio (como los de dientes). Después, sígase el procedimiento que se describe a continuación y hágase el ajuste a cero.

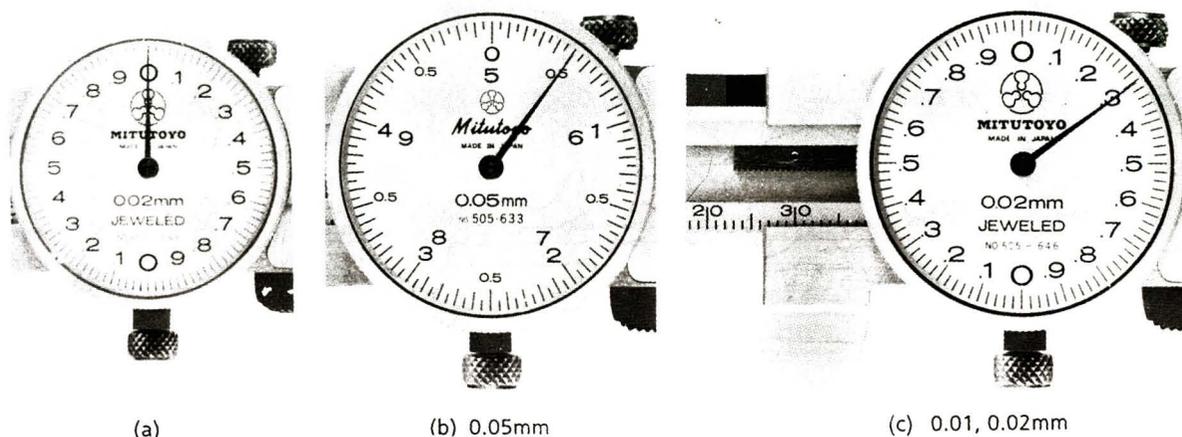


Figura 7.49.

- I. Gire el arillo y localice el punto 0 en la posición 12 horas de un reloj.
- II. Abra las puntas de medición aproximadamente 20-30 mm con la aguja descansando a escasos 0.5 mm al lado derecho del punto 0, para el calibrador con graduación de 0.05 mm, o con la aguja descansando cerca de 0.3 mm al lado derecho del punto 0, para el calibrador con graduación de 0.02 mm o de 0.01 mm (Fig. 7.49).
- III. Detenga con la mano el ajustador, como lo muestra la figura 7.50, e introduzcalo a lo largo de los dientes de la cremallera hasta que haga contacto con el piñón que está sobre la cremallera (Figs. 7.51 y 7.52).
- IV. Deje de introducir el ajustador y mueva el cursor suavemente a la izquierda; cuando el piñón se monte sobre el ajustador, como se ve en la figura 7.53, la aguja detendrá su rotación.

Con el piñón montado en el ajustador, mueva el cursor hacia la izquierda. Si en esta operación el movimiento del cursor no es suave cuando el piñón está montado sobre el ajustador, empuje ligeramente el ajustador y repita el procedimiento.

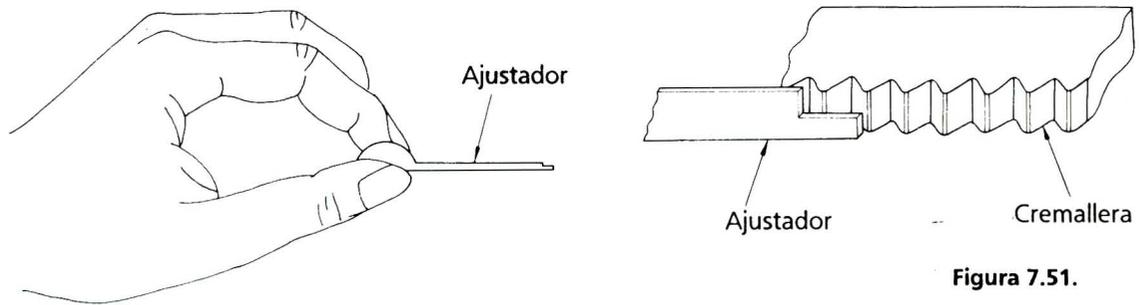


Figura 7.50.

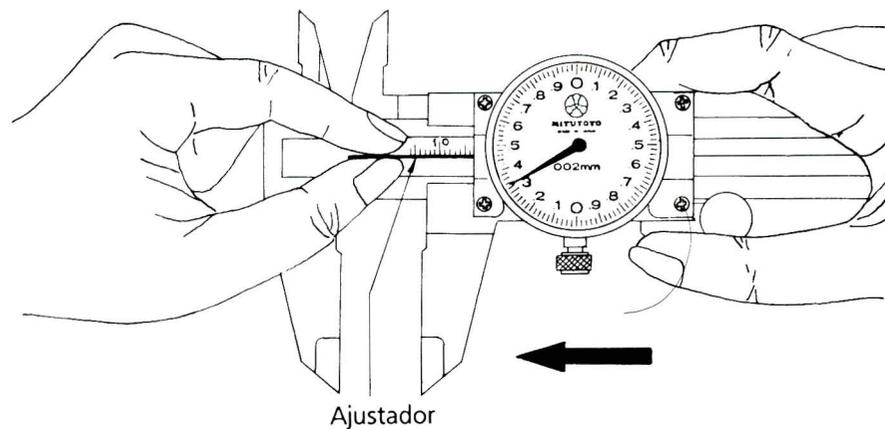


Figura 7.52.

Tenga cuidado de no mover el cursor si nota falta de suavidad o se atora al deslizarse, ya que el piñón o el mecanismo de joyería pueden dañarse.

- V. Asegúrese de que las puntas de medición estén cerradas y después extraiga suavemente el ajustador.
- VI. Asegúrese de que la aguja quede en el punto cero cuando las puntas de medición estén cerradas.

En modelos más recientes el procedimiento anterior se simplifica; y para el calibrador con valor de mínima división de 0.02 mm es como se ilustra en la figura 7.54.

Ajuste de la fuerza de rotación del arillo

Los nuevos calibradores de carátula cuentan con un ajustador de la fuerza de rotación del arillo, así como con un tornillo fijador del arillo.

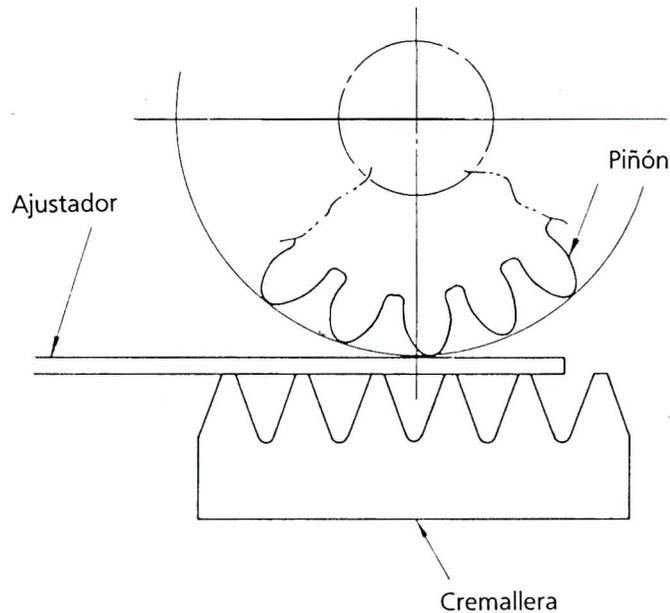


Figura 7.53.

El tornillo que está en la parte posterior del indicador sirve para ajustar la fuerza de rotación del arillo.

Debido a la elasticidad de la pieza de hule de poliuretano, la fuerza de rotación del arillo puede ajustarse con el tornillo dentro del rango de dos vueltas.

La fuerza de este dispositivo es suficiente para prevenir la rotación libre del arillo en las operaciones de medición ordinaria, lo que elimina la necesidad de apretar el arillo de la carátula con el tornillo sujetador convencional (Figs. 7.55 y 7.56).

Uso apropiado del calibrador de carátula

A diferencia del calibrador con escala vernier, el calibrador con carátula está provisto de una cremallera, un piñón acoplado a ésta y un tren de engranaje que aumenta el movimiento de los desplazamientos. Por tanto, los siguientes puntos deben considerarse cuando se usen los calibradores de carátula. Téngase presente que el calibrador es muy sensible.

1. Ajuste del cursor

Debido al mecanismo de aumento del tren del engranaje del calibrador de carátula, el juego en el ajuste entre la barra principal y el cursor, aunque éste apenas afecta la medición de un calibrador con escala vernier, puede alterar las mediciones en el caso del de carátula. Por tanto, reducir el juego al mínimo es de primordial importancia con el fin de asegurar mediciones exactas y estables.

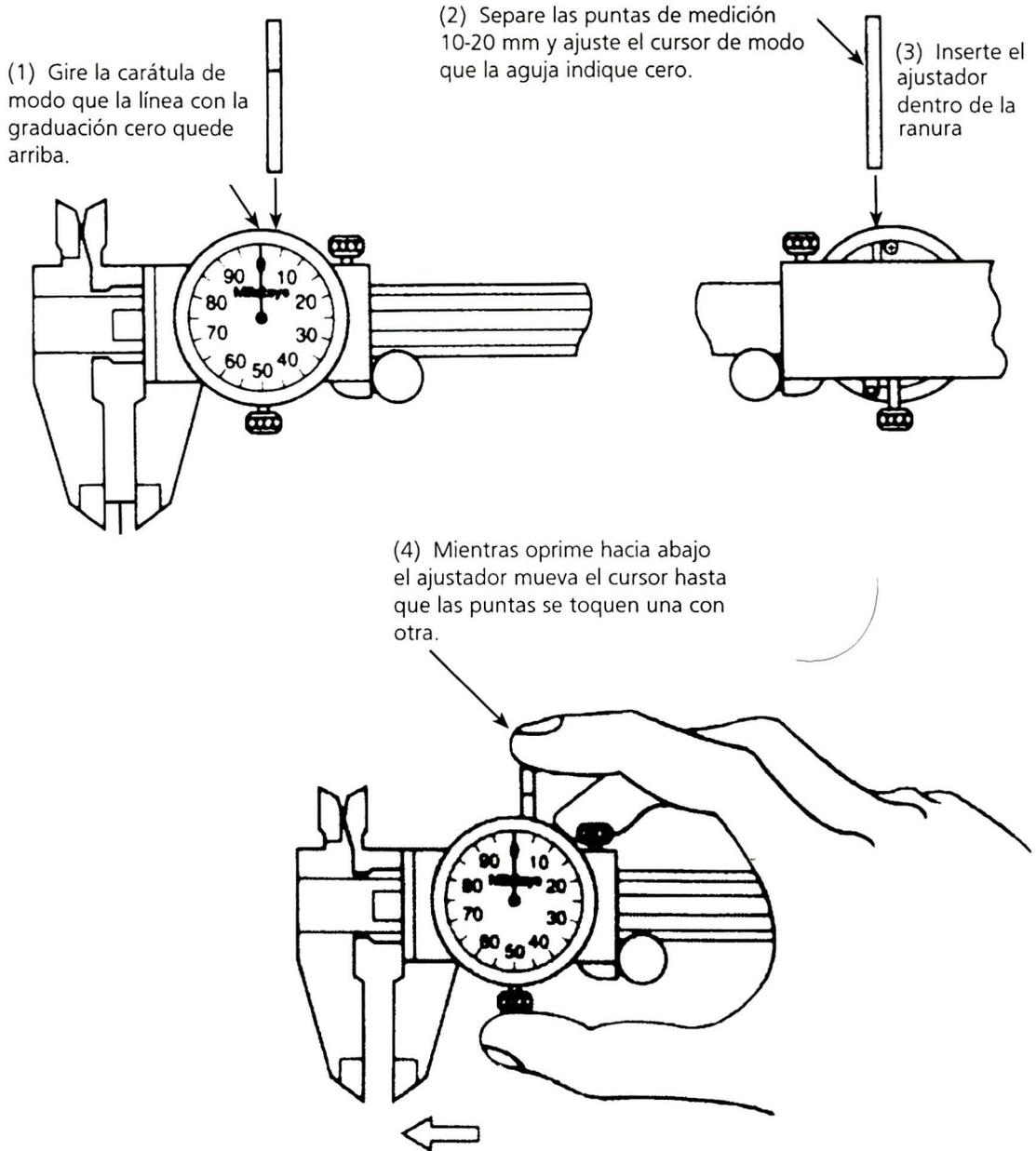


Figura 7.54.

El cursor está provisto de dos tornillos, como lo muestra la figura 7.57. Para obtener la fuerza óptima de deslizamiento en el cursor, afloje los tornillos un poco después de haberlos apretado y mueva el cursor para sentir la fuerza de deslizamiento. Repita varias veces estos pasos hasta hallar la fuerza de desliza-



Figura 7.55.

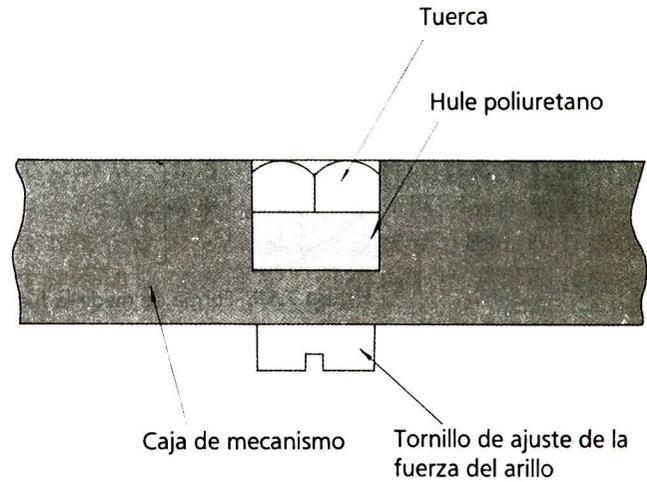


Figura 7.56

miento óptima, la cual es entre 100 y 300 gf (1N-3N) con los tornillos casi apretados.

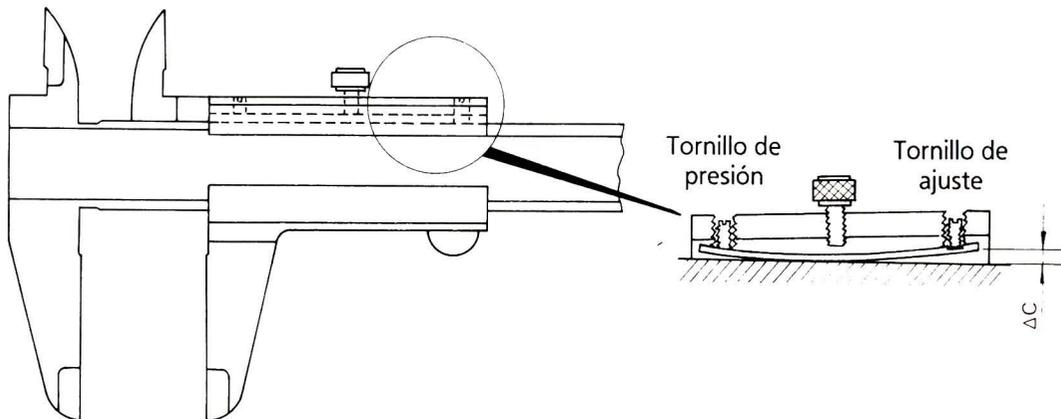


Figura 7.57.

La fuerza de deslizamiento es la fuerza necesaria para mover con suavidad el cursor a una velocidad constante y puede medirse, como se muestra en la figura 7.58, con un dinamómetro.

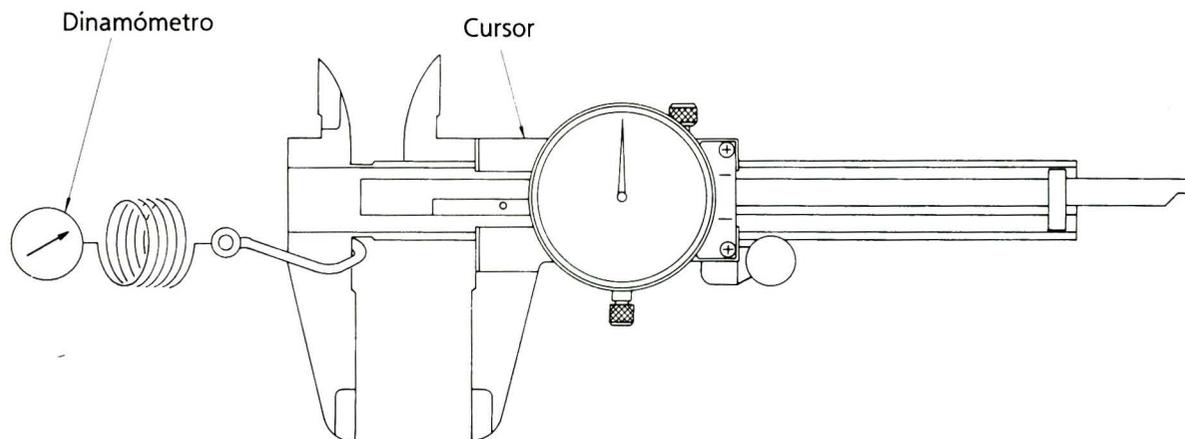


Figura 7.58. Forma de medir la fuerza de deslizamiento del cursor.

2. Efecto de la fuerza de medición

El calibrador de carátula está construido contra el principio de la Ley de Abbe. Esto indica que el efecto de la fuerza de medición en la lectura no debe ignorarse para la toma de medidas exactas. La figura 7.59 muestra la dispersión de fuerzas de medición observadas en la medición de piezas de trabajo del mismo tamaño

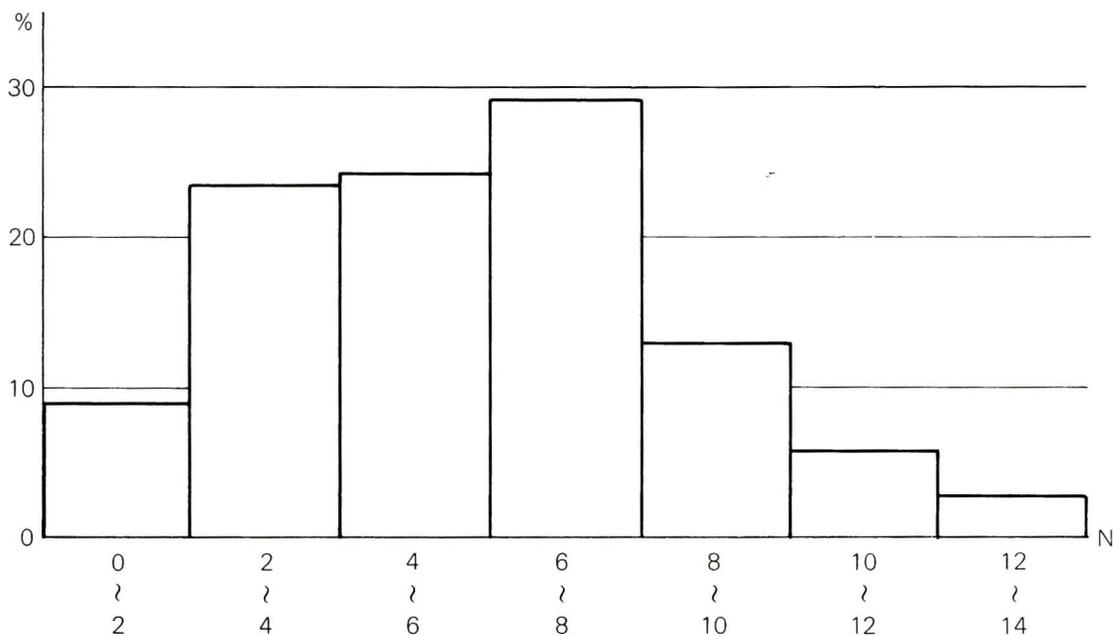


Figura 7.59. Dispersión de la fuerza de medición

con un calibrador de carátula. La dispersión tiene variaciones de 1.5 hasta 14 N, de manera que al hacerlo así no debe extrañarnos que estos errores queden involucrados en las mediciones. Por lo tanto, es necesario tener destreza para controlar la fuerza que se ejerce durante la medición con el calibrador de carátula. En este calibrador es posible adquirir esta habilidad utilizando la sensibilidad de los dedos.

El primer paso es medir un bloque patrón sosteniéndolo bien entre las puntas de medición, como lo muestra la figura 7.60 (a). La medición debe hacerse varias veces, utilizando diferente fuerza cada vez y observando el desplazamiento de la aguja, el cual depende de la fuerza aplicada en la medición.

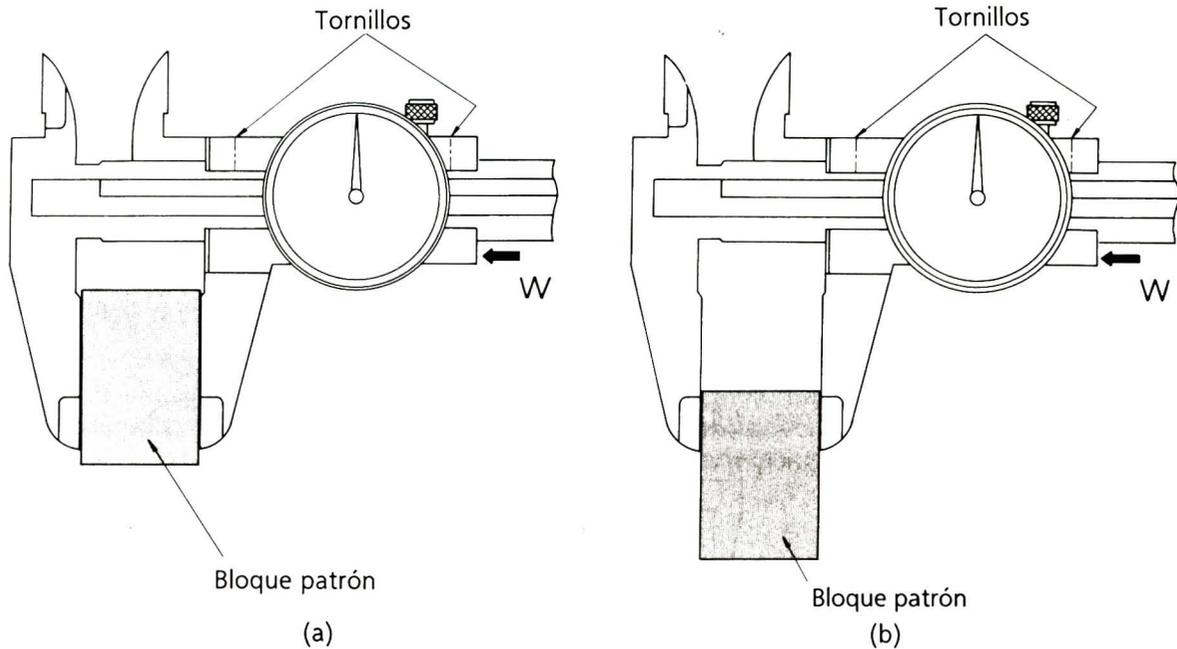


Figura 7.60.

El segundo paso es medir el bloque patrón en el extremo de las puntas de medición, como lo muestra la figura 7.60 (b), y observar el desplazamiento de la aguja.

Por medio de la experimentación con el ejemplo anterior, usted estará preparado acerca de las diferentes "tendencias en las mediciones" de su calibrador de carátula.

3. Ajuste adecuado a cero

Debe quedar claro que la fuerza aplicada en la medición debe considerarse en la toma de mediciones exactas. Ahora, ¿cómo se aplica la "tendencia de la medición" en las mediciones reales?

En el ajuste a cero del calibrador de carátula las puntas estarán cerradas con todas las superficies de medición en contacto. Sin embargo, en las mediciones reales es excepcional que la totalidad de las superficies de medición estén en pleno contacto con la pieza por medir. Para la mayoría de los casos, una parte, la esquina o la base de las puntas son las que se utilizan en las mediciones. Por tanto, lo mejor es determinar la "tendencia en las mediciones" usando pernos patrón de 1 mm hasta 5 mm y aplicar la fuerza de medición para determinar el ajuste a cero.

4. Servicio

Limpieza

Antes y después de la medición, quite el polvo y las rebabas del cursor y de las caras de medición de las puntas con papel cuyas fibras no se desprendan fácilmente. No limpie con papel la cremallera. La fibra que desprende el papel puede dañar el movimiento del cursor o dañar el piñón si se queda adherida a la cremallera.

- La cremallera puede limpiarse con aceite ligero (no utilice solventes orgánicos o resinas, ya que el mecanismo del aparato puede dañarse). Cuando la cremallera esté seca póngale una gota de aceite (del que usan

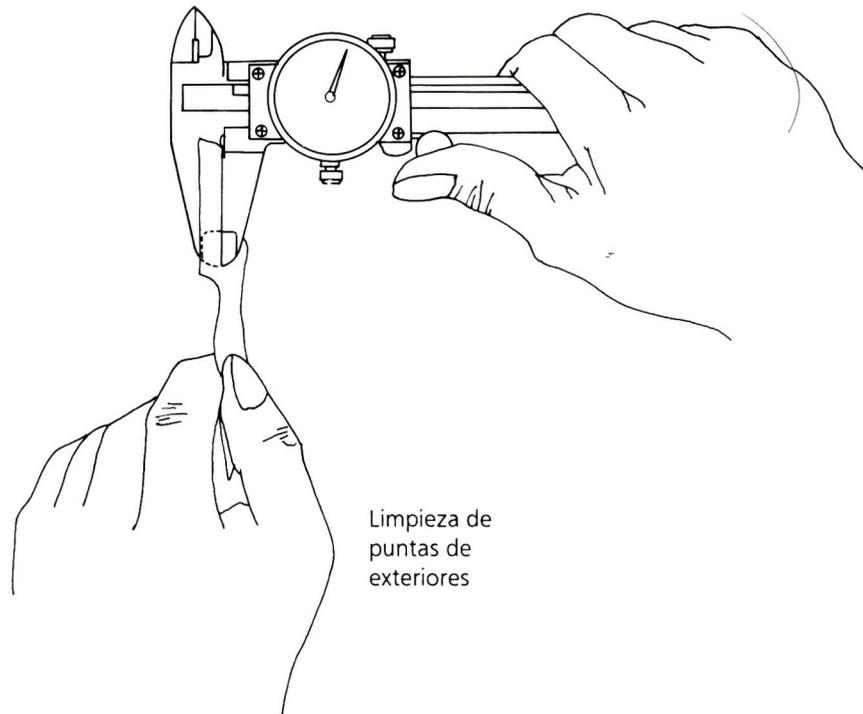


Figura 7.61.

los relojeros) en algunos puntos de la cremallera y mueva el cursor. (Tenga cuidado de no utilizar nunca materiales como aerosoles, grasas, ceras, etcétera, que puedan coleccionar polvo.)

- Las caras de medición exteriores pueden limpiarse colocando papel grueso libre de fibrilla suelta entre las puntas, como se ve en la figura 7.61, y jalándolo a través de las puntas.

En este caso tal vez la fibrilla del papel permanezca alrededor de la base y las esquinas de las puntas. Las fibrillas que permanezcan adheridas pueden eliminarse con los dedos de la mano.

Comprobando antes de medir

Después de la limpieza, verifique que la aguja esté en cero en la carátula cuando las puntas estén cerradas.

Enseguida, mueva el cursor a lo largo de toda la barra, asegurándose de que no tenga ruido ni vibración. Habrá que corregir si se encuentra algo mal.

Almacenamiento

Cuando se almacene por un largo tiempo, limpie el calibrador de carátula frotándolo como se ha mencionado antes, verifique las caras de medición, cerciórese de que no haya algún defecto y póngalo a cero. Después coloque el calibrador en su estuche.

5. Bosquejo de reparación

Se han explicado las características y mecanismos de los calibradores de carátula. Aquí daremos un bosquejo para reparar la unidad del indicador.

Cómo quitar el arillo

Estando flojos el tornillo de fijación y el dispositivo de control de la fuerza del arillo, éste puede extraerse fácilmente haciendo palanca con un desarmador plano apoyado en la parte baja del arillo, como lo indica la figura 7.62. Esto se hace aplicando la fuerza de extracción en varios puntos alrededor, sin aplicar una fuerza excesiva en un punto en particular.

Cómo extraer la aguja del ensamble

Sujetar la parte baja del ensamble de la aguja (Fig. 7.63 *a* y *b*) con pinzas y hacer palanca hacia arriba, extrayendo este ensamble como lo indica la figura 7.63*b*, en la cual se ve la aplicación de la fuerza hacia arriba sin que la pinza cierre sobre el eje.

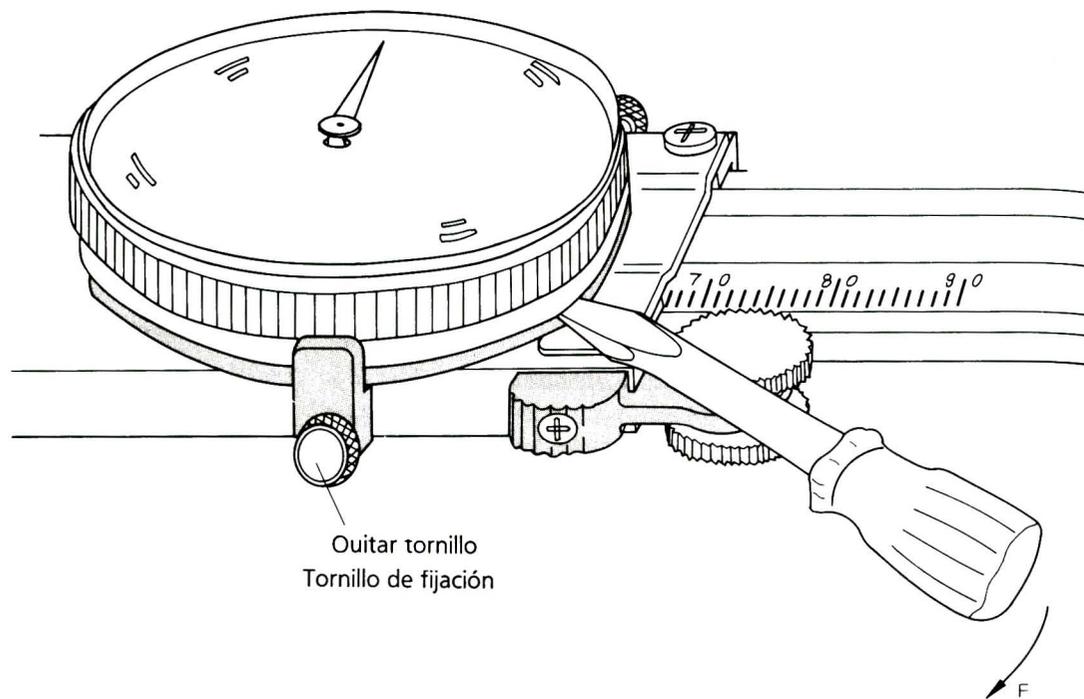


Figura 7.62.

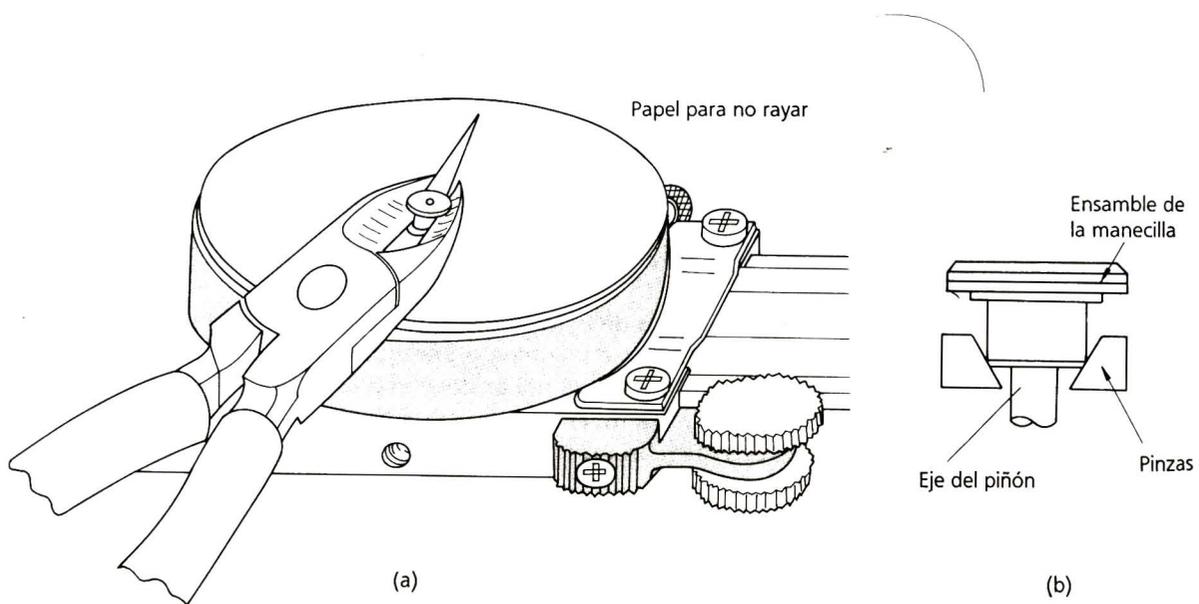


Figura 7.63.

Reemplazo del ensamble del mecanismo

Hay dos tipos de ensamble del mecanismo, uno para la graduación 0.05 mm (.001 pulg. .2 pulg/Rev.), y el otro para el de graduación de 0.02 mm (.001 pulg. .1 pulg/Rev.).

Graduación de .05 mm o .001 pulg

En el ensamble de graduación de 0.05 mm o 0.001 pulg la caja de mecanismo, como se ve en la figura 7.64 queda al descubierto cuando la carátula se extrae después de haber quitado el ensamble de la aguja.

Para reemplazar el muelle o el piñón, es necesario extraer la caja del mecanismo desatornillando los dos tornillos (A).

- *Para reemplazar el piñón:*

Empuje hacia atrás el muelle en el lugar (B) y el piñón podrá sacarse fácilmente. En este caso no quitar el soporte.

- *Para reemplazar el soporte:*

Desatornillar los dos tornillos (C) y el muelle podrá extraerse. Para montar el muelle, colocar y apretar los tornillos (C) y oprimir el muelle en la parte (D) sobre el piñón.

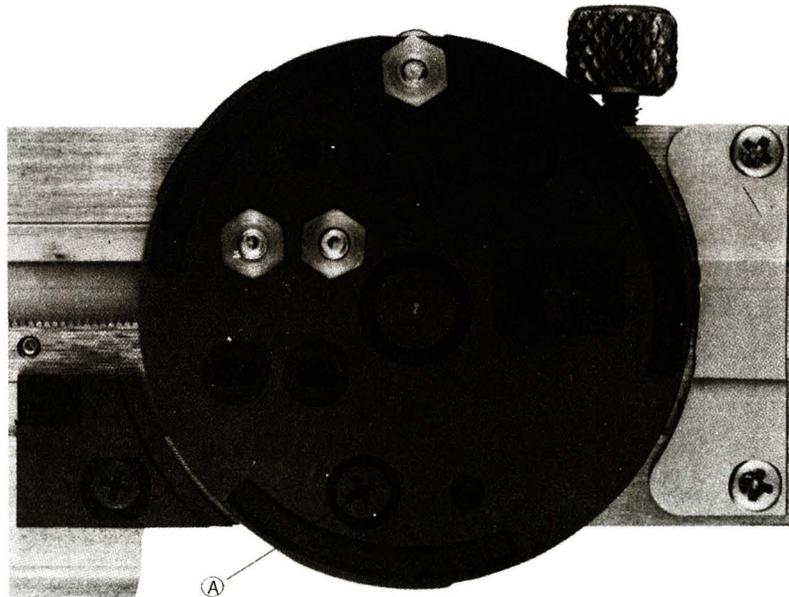


Figura 7.64.

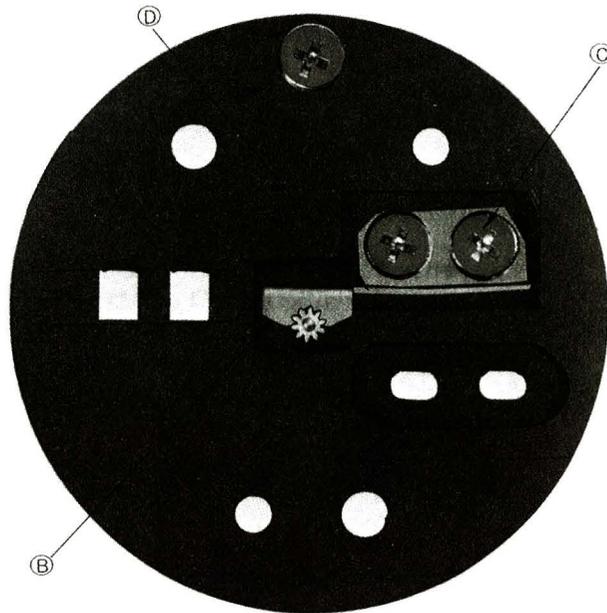


Figura 7.65.

En la reposición y ensamble sobre el cursor es necesario ajustar de tal manera que el piñón quede erecto por completo y perfectamente engranado con la cremallera, lo cual se hace de la siguiente manera: con el ensamble de la aguja presionar suavemente con el dedo sobre el eje del piñón, moviendo la regleta y observando las distancias (a) y (b) de la figura 7.66, y ajustar la posición de la caja de manera que (a) y (b) queden nivelados, después apriete los tornillos (A) (Fig. 7.64).

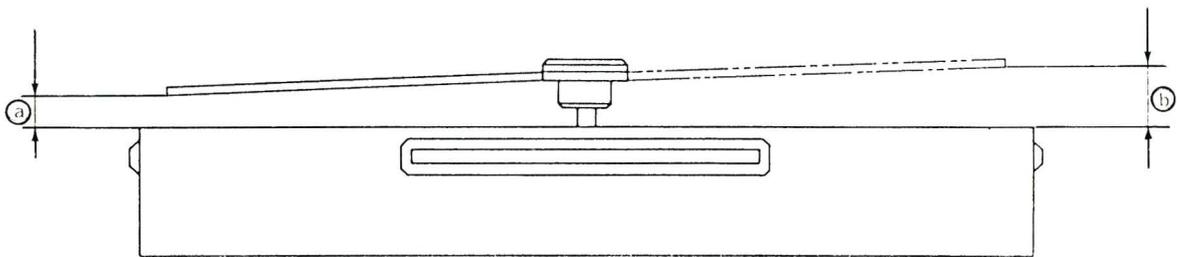


Figura 7.66.

En el de graduación de 0.02 mm o .001 pulg

Quando se hayan quitado el ensamble de la aguja y la carátula, la caja del mecanismo se destapa como se ve en la figura 7.67a.

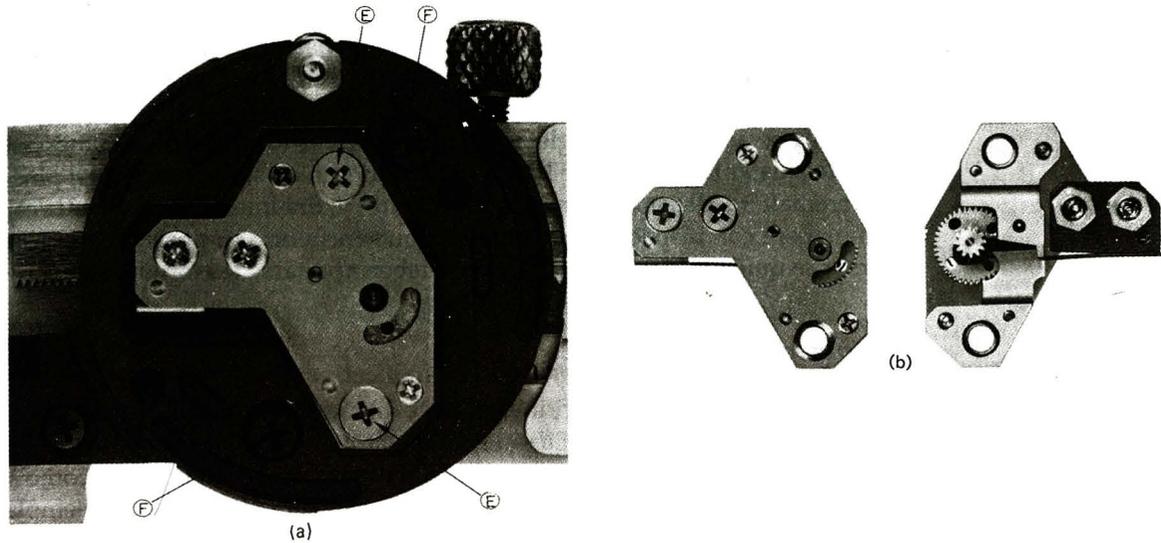


Figura 7.67.

La parte metálica que se muestra en la parte superior de la figura 7.67b es el ensamble del mecanismo que contiene el tren de engranes, incluyendo su muelle. Si alguna de las partes, como el piñón u otro engrane, joya o el muelle, empieza a fallar, el mecanismo completo debe reponerse por uno nuevo. Para reemplazar los componentes de este mecanismo ensamblado se requieren dispositivos especiales para montar y ajustarlos.

Para posicionar el ensamble del mecanismo en la caja, la circunferencia de los agujeros para los tornillos en la caja (E) está resaltada, (Fig. 7.68) y así

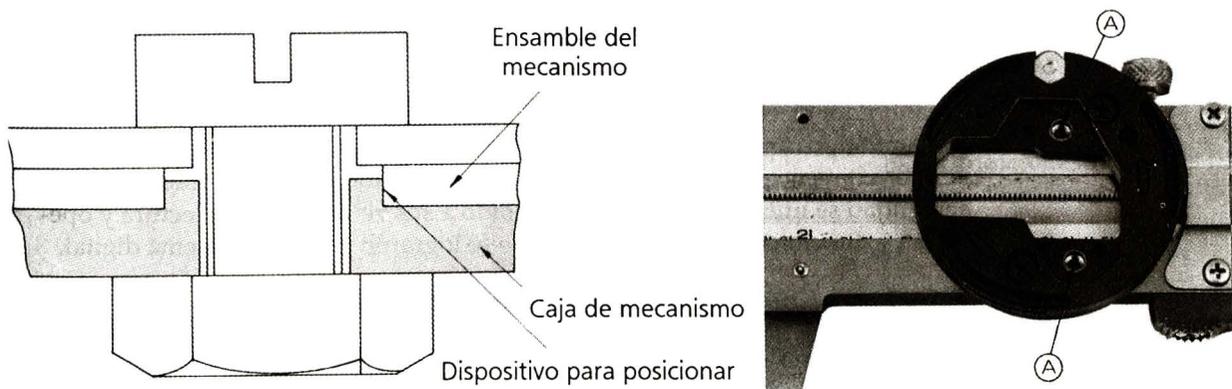


Figura 7.68.

hermanarla con los agujeros del ensamble del mecanismo. Haga presión, fije el mecanismo de movimiento en la caja y apriete los tornillos (E).

Es indispensable contar con dispositivos y herramienta especiales para reemplazar las partes de este mecanismo, por lo que se recomienda reponer el ensamble del mecanismo completo.

La caja se asegura a la regleta por medio de los tornillos (F). Cuando sea necesario ajustar la posición de la caja para lograr un ajuste adecuado del piñón con la cremallera, deben aflojarse los tornillos (F) y, finalmente, desplazar la caja de tal manera con respecto a la cremallera que encuentre su posición en la que el cursor se mueva suavemente. Después deben apretarse los tornillos (F).

Reemplazo de la cremallera

La cremallera se fija a la barra principal del calibrador por medio de tornillos en la parte trasera de la misma. Cuando se tenga que reemplazar por una u otra razón, es deseable, primero, haber quitado el ensamble del mecanismo como se ha mencionado antes y después proceder a extraer la cremallera para reemplazarla.

Cuando quiera extraerse la cremallera para reemplazarla sin haber quitado primero el mecanismo del movimiento, es imperativo tener mucho cuidado para no dañar el piñón y su ajuste con respecto a la cremallera. (Cuidadosamente, deslizar la cremallera rectamente y sin torcerla a lo largo de la pared de la ranura hasta que no se suelte del piñón.)

Recomendación

La Norma DIN 862 considera a los calibradores de carátula como una versión del calibrador de vernier, y recomienda utilizarlos en lugar de los de vernier cuando se tomen mediciones de hasta 0.02 mm, ya que con este último puede generarse un error en la lectura.

CALIBRADORES ELECTRODIGITALES

Introducción

El calibrador electrodigital (Fig. 7.69) utiliza un sistema de detección de desplazamiento tipo capacitancia, y es casi del mismo tamaño y peso que el calibrador vernier convencional del mismo rango de medición. Estos calibradores en la actualidad se utilizan extensamente debido a sus ventajas —fácil lectura y operación y, funcionalidad mejorada—, que se lograron gracias al sistema digital.

Tamaños y tipos de calibradores electrodigitales

Los calibradores electrodigitales están disponibles en una amplia variedad de tamaños con rangos de medición de 100, 150, 200, 300, 450, 600 y 1000 mm. Algunos calibradores electrodigitales pequeños tienen insertos de carburo en las

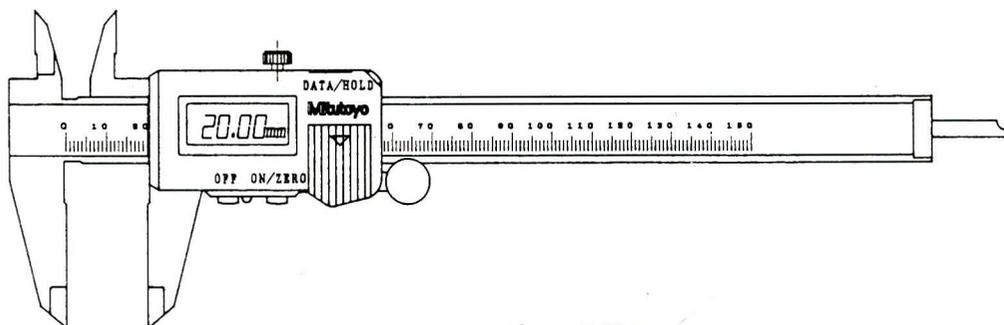


Figura 7.69.

puntas de medición. En la actualidad todos los tipos de calibradores vernier para propósitos especiales pueden conseguirse en versión electrodigital. Éstos están provistos con un conector para salida de datos.

Características

Las principales características de los calibradores electrodigitales se describen a continuación.

Facilidad de lectura

Los valores medidos pueden verse en una pantalla de cristal líquido (LCD) con cinco dígitos (Resolución: 0.01 mm) y que es fácil de leer y libre de errores de lectura.

Compacto, liviano y bajo consumo de energía

El calibrador electrodigital es tan compacto y liviano como el calibrador vernier convencional. Esto pudo lograrse adaptando un detector tipo capacitancia, el cual es compacto porque está fabricado con un circuito miniaturizado de baja potencia que no requiere cambios sustanciales respecto de la estructura del calibrador convencional. Como los calibradores electrodigitales consumen poca energía, una pequeña batería proporciona muchas horas de servicio. (La vida de la batería es de aproximadamente dos años, bajo condiciones normales de operación.)

Datos de referencia

Peso: 170 g (para el rango de medición de 150 mm)
200 g (para el rango de medición de 200 mm)

Fuente de energía: batería de óxido de plata (SR-44)

Función de fijado del cero

Esta función pone cero en la pantalla en cualquier posición que se desee, lo que permite mediciones comparativas y otros tipos de medición de acuerdo con el tipo de pieza por medir.

Alta velocidad de respuesta

La velocidad de respuesta del detector es lo suficientemente alta para velocidades normales de medición. (Las velocidades máximas de respuesta son 6000 mm/s cuando se abren las puntas de medición y 1600 mm/s cuando se cierran.)

Función de salida de datos

Los calibradores electrodigitales pueden conectarse a una unidad externa de procesamiento de datos, como un microprocesador o una computadora personal. También pueden integrarse a una red para control estadístico del proceso.

El botón de salida de datos tiene dos funciones: sirve como un interruptor de salida de datos, cuando un dispositivo externo está conectado, y mantiene los datos en pantalla cuando ningún dispositivo externo es conectado.

Datos de referencia:

Rango de temperatura de operación 0°C a 40°C

Rango de temperatura de almacenamiento -10°C a 60°C

Estructura

El calibrador electrodigital consiste de un brazo principal, un cursor —como el calibrador vernier convencional—, una unidad de escala de desplazamiento y una unidad de lectura. La figura 7.70 muestra la estructura de este tipo de calibrador.

La unidad de escala de desplazamiento cuenta con un arreglo exactamente alineado de electrodos que proporciona una referencia para el sensor de posición. La unidad de lectura consiste de un electrodo sensor —el cual queda frente a los electrodos de la unidad de escala de desplazamiento— circuitos para procesar la señal del sensor a un valor de desplazamiento y botones de operación.

Requerimientos funcionales del sensor

Los siguientes son requerimientos funcionales para un sensor que determine desplazamientos en calibradores electrodigitales:

- Bajo consumo de energía.
- Alta resolución y gran rango de medición.

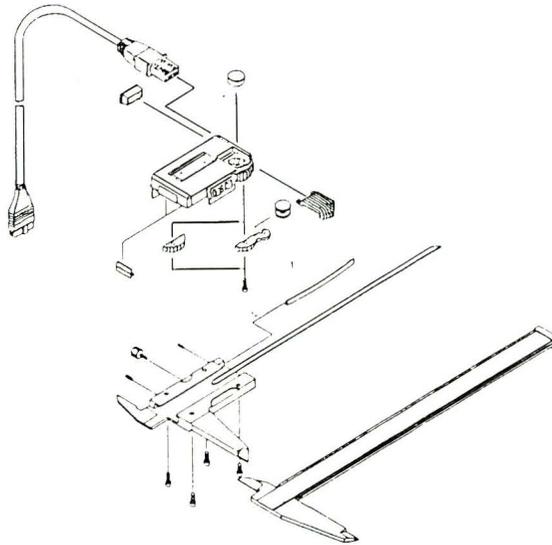


Figura 7.70.

- No debe responder a desplazamientos lineales o angulares en direcciones diferentes a la de la medición.
- No alambrado con la escala principal.
- Tamaño pequeño y bajo costo.

El sensor tipo capacitancia satisface estos requerimientos, por lo que los calibradores electrodigitales cuentan con él.

Principio de detección de los calibradores electrodigitales

El sensor de desplazamiento de los calibradores electrodigitales utiliza un codificador lineal tipo capacitancia que detecta desplazamientos basados en la diferencia de fase de corriente eléctrica inducida. Como lo muestra la figura 7.71, cada unidad sensora consiste de placas capacitadoras paralelas $C1$ y $C2$, placas emisoras $P1$ y $P2$ y placa receptora R . Cuando se aplican voltajes de onda senoidal $V1 (= \sin \omega t)$ y $V2 (= \cos \omega t)$ a las placas emisoras $P1$ y $P2$, respectivamente, la fase de la corriente eléctrica generada por la carga QR sobre la placa R es recorrida desde la de $V1$ en proporción al desplazamiento de las placas emisoras. Por medio de la detección de la diferencia de fase, el desplazamiento o valor medido puede determinarse, como lo muestra la figura 7.72; el sensor de desplazamiento de un calibrador electrodigital contiene seis conjuntos de ocho placas emisoras (proporcionando ocho diferentes fases) o 40 placas emisoras en total.

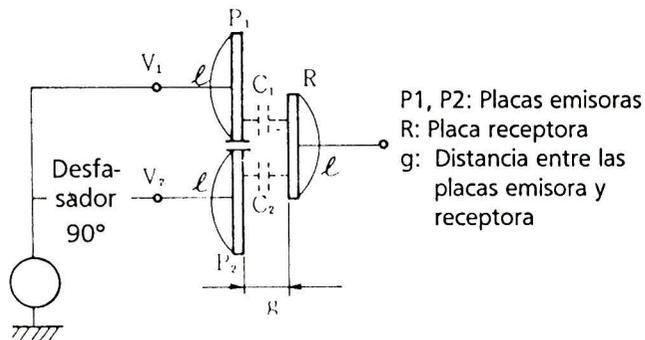


Figura 7.71.

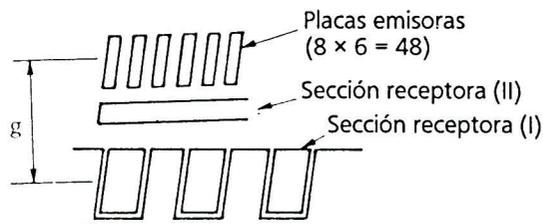


Figura 7.72.

Microprocesador

Existen sistemas para el control del proceso que integran una gran variedad de instrumentos de medición. Tales sistemas cuentan con microprocesadores que procesan datos de instrumentos de medición electrodigitales en áreas productivas. También cuentan con una variedad de unidades de transmisión de datos que envían las mediciones a una computadora central para la administración y almacenamiento centralizado de datos. El sistema elegido puede configurarse para que se adecúe al sistema de producción particular de cada fabricante.

Muchos programas de computadora (*software*) están disponibles para realizar cálculos estadísticos y crear histogramas, gráficas \bar{X} -R y realizar análisis de capacidad de procesos entre otros. La figura 7.73 muestra algunos

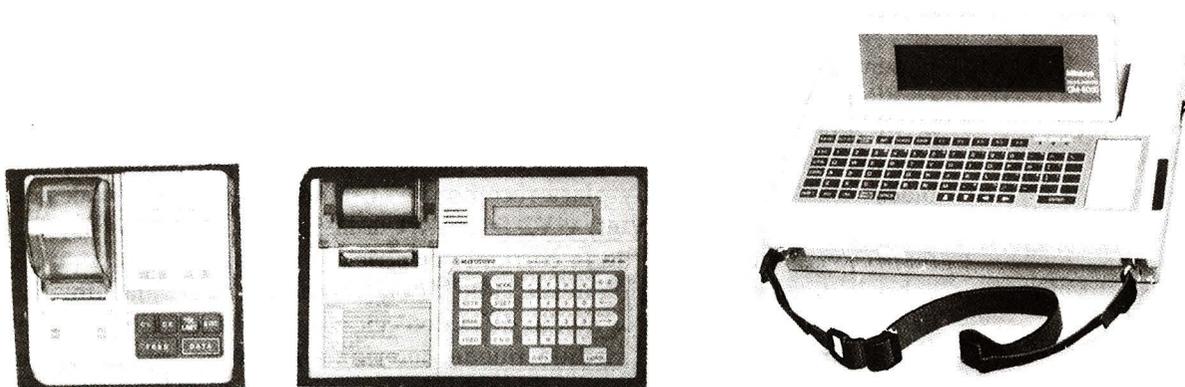


Figura 7.73.

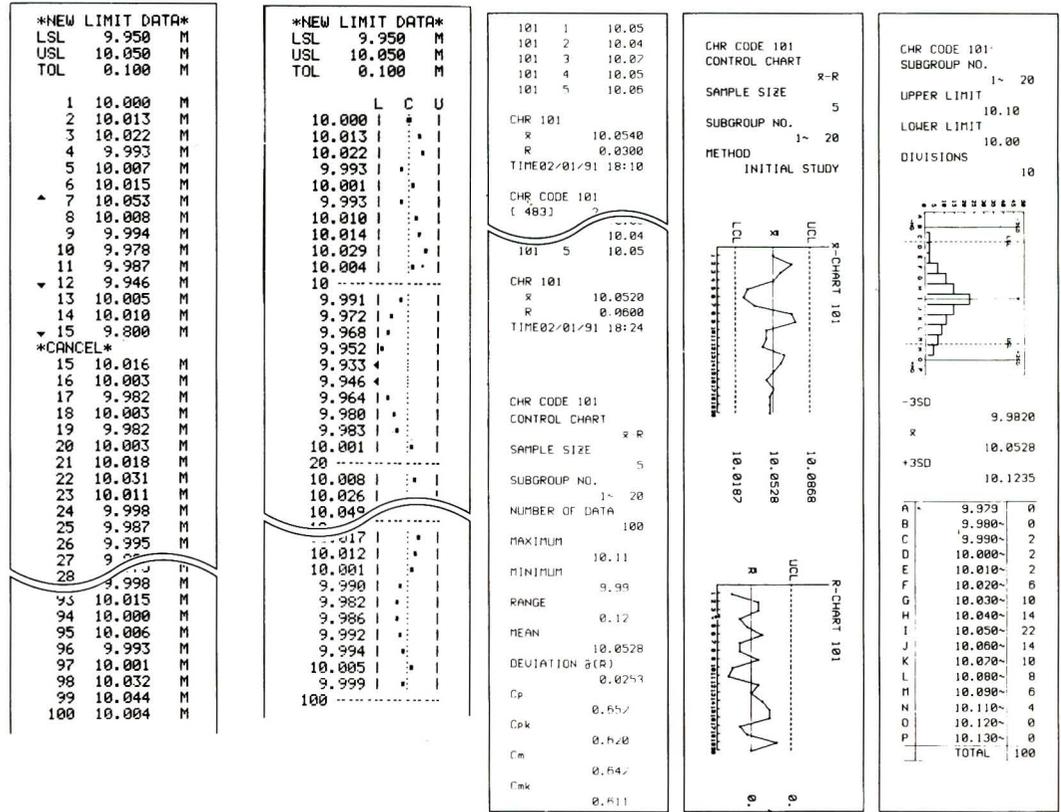


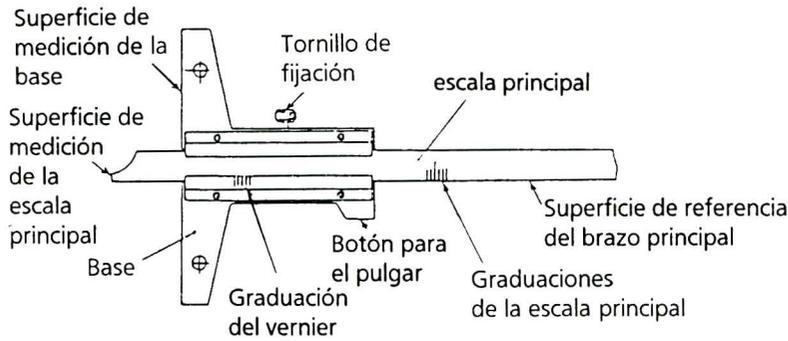
Figura 7.74.

ejemplos de procesadores de datos, y la figura 7.74 ejemplos de los resultados obtenidos.

MEDIDORES DE PROFUNDIDAD

El medidor de profundidad está diseñado para medir las profundidades de agujeros, ranuras y resagues, así como diferencias de altura entre peldaños o planos. Consiste de un vernier con una base y una escala principal. Sus sistemas de graduación y construcción son básicamente los mismos que los empleados en

los calibradores vernier, es ampliamente utilizado como una herramienta dedicada para la medición de profundidad y altura, debido a su alta confiabilidad de medición y facilidad de operación.



(a)

Figura 7.75.

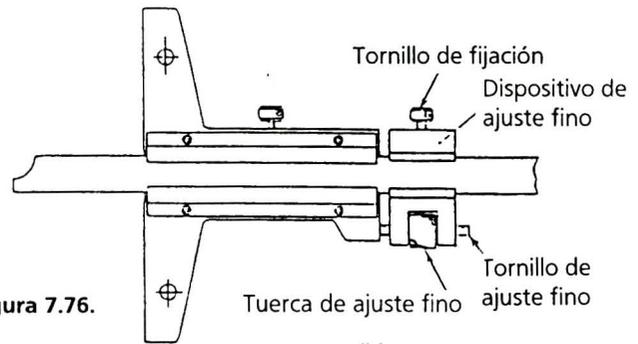
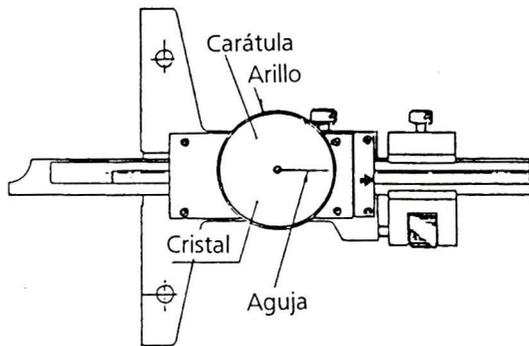


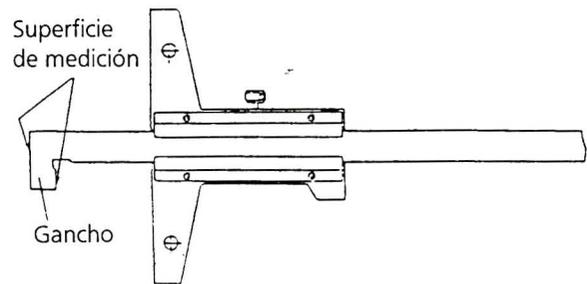
Figura 7.76.

(b)



(c)

Figura 7.77.



(d)

Figura 7.78.

Nomenclatura

Las figuras 7.75 a 7.78 muestran la nomenclatura de diferentes tipos de medidores de profundidad.

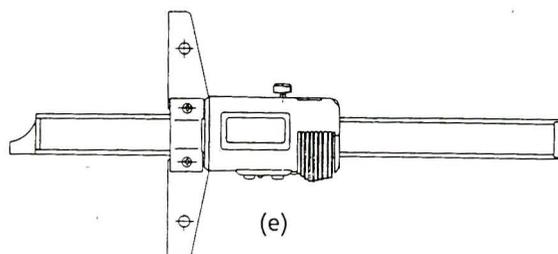


Figura 7.79.

Tipo y construcción

Como lo muestran las figuras 7.75 a 7.79, muchos tipos de medidores de profundidad están disponibles, con o sin dispositivo de ajuste fino, tipo gancho, tipo con carátula y medidores de profundidad electrodigitales.

- (a) y (d) no tienen dispositivo de ajuste fino y proporcionan legibilidad de 0.05 mm.
- (b) tiene dispositivo de ajuste fino y proporciona legibilidad de 0.02 mm.
- (c) De carátula proporciona legibilidad de 0.05 mm.
- (e) Electrodigital proporciona resolución de 0.01 mm.

Tabla 7.6.

Tipo	Rango de medición	Graduación de la escala principal/graduación del vernier/carátula	Legibilidad o resolución
(a)	150-1000 mm	1 mm/20 divisiones en 39 mm	0.05 mm
(b)	150-1000 mm	1 mm/50 divisiones en 49 mm	0.02 mm
(c)	150-300 mm	1 mm/5 mm/100 divisiones alrededor de la circunferencia	0.05 mm
(d)	150-300 mm	1 mm/20 divisiones en 39 mm	0.05 mm
(e)	150-300 mm		0.01 mm

Ejemplo de uso

Como puede verse en las figuras 7.80 y 7.81, los medidores de profundidad pueden medir profundidades de agujeros y ranuras y diferencias de altura entre peldaños. Si el diámetro o el ancho de la ranura de la pieza es demasiado grande para la cara de medición de la base para alcanzar los bordes, monte una extensión a la base como lo muestra la figura 7.82. Las extensiones para la base tienen dos agujeros de montaje que se alinean con los agujeros de la base. Para sujetar una extensión a la base, coloque el medidor de profundidad y la extensión sobre una superficie plana de referencia con sus caras de medición hacia abajo, de modo que las caras estén al ras una con otra. Entonces, lentamente, sujételas para

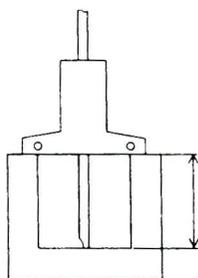


Figura 7.80.

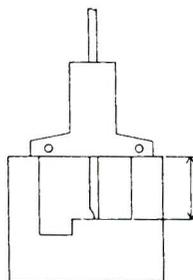


Figura 7.81.

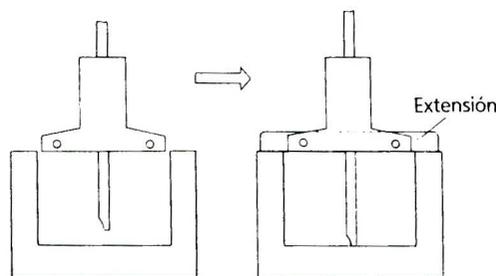


Figura 7.82.

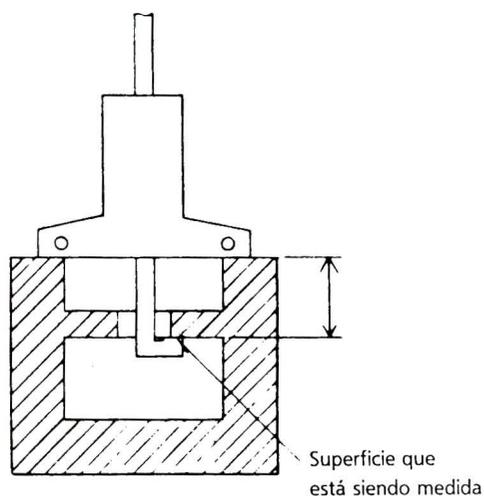


Figura 7.83.

mantenerlas juntas. Cuando lo use, verifique de tiempo en tiempo que las caras de medición de la base y la extensión se mantengan al ras y limpias.

El medidor de profundidad tipo gancho es utilizado para medir la profundidad de una porción proyectada en un agujero o ranura (Fig. 7.83).

Comparación de la exactitud de medición

Los medidores de profundidad están diseñados para proporcionar mediciones de profundidad más exactas que las de los calibradores. Una comparación de la exactitud entre un medidor de profundidad y un calibrador con barra de profundidad mostró que las mediciones hechas con el primero tuvo menores variaciones que las obtenidas utilizando un calibrador; por lo tanto, es recomendable utilizarlos, siempre que sea posible, para medir profundidad.