

2. Instrumentos de medida

2.1 Instrumentos de medición

Para abordar un buen trabajo metrológico es preciso conocer los diferentes instrumentos de medición disponibles, sus posibilidades, capacidad, adecuación, limitaciones, etc., así como sus características específicas de tipo constructivo y su manejo, pero además de todo ello es necesario poder valorar los diferentes parámetros que definen la aptitud metrológica de cualquier instrumento o equipo de medición.

2.1.1. Características metrológicas de los instrumentos de medida

Los instrumentos de medida pueden definirse en parte a través de sus características metrológicas, que son las siguientes:

Alcance: (en inglés *span*) es la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de la variable de entrada del instrumento de medida. Conviene destacar que muchos equipos presentan un alcance que puede ser ajustado según los requisitos de la señal, *calibrated span*, en ese supuesto el alcance puede no coincidir con los valores que definen el rango.

Condiciones límites: grupos de instrumentos de medida que satisfacen determinadas exigencias metrológicas destinadas a conservar los errores dentro de límites especificados. Se indica por un número o símbolo adoptado por convenio y denominado índice de clase.

Condiciones de referencia: condiciones de utilización prescritas para los ensayos de funcionamiento de un instrumento de medida o para la intercomparación de los resultados de las medidas.

Condiciones nominales de funcionamiento: condiciones extremas que un instrumento de medida puede soportar sin daño y sin que se degraden sus características metrológicas específicas cuando con posterioridad se utiliza en condiciones normales de funcionamiento.

Constante: es el coeficiente por el cual debe multiplicarse la indicación directa de un instrumento de medida para obtener el valor indicado del mensurando o de una magnitud a utilizar en el cálculo del valor del mensurando.

Curva de calibración: expresión de la relación entre una indicación y el valor medido correspondiente.

Deriva: variación lenta de una característica metrológica de un instrumento de medida.

Desplazamiento: (en inglés *bias, offset*) un desplazamiento en la medida se produce cuando existe un error constante sobre todo el rango de medida. Este error generalmente puede ser eliminado por medio de un procedimiento de ajuste.

División de escala: intervalo entre dos valores sucesivos en la escala de medida. Algunos instrumentos disponen de más de una división de escala. Si un instrumento trabaja con el empleo simultáneo de más de una escala, consideramos como división de escala de ese instrumento a la menor.

Error de indicación: indicación de un instrumento de medida menos un valor convencionalmente verdadero de la magnitud de entrada correspondiente.

Error convencional reducido: relación entre el error de un instrumento de medida y un valor especificado para el instrumento.

Error del cero: error para un valor nulo del mensurando que se toma como punto de control.

Error de justeza: error sistemático de indicación de un instrumento de medida.

Error en un punto de control: error de un instrumento de medida para una indicación especificada o para un valor especificado del mensurando que se ha elegido para controlar un instrumento.

Error intrínseco: error de un instrumento de medida determinado en condiciones de referencia.

Errores máximos permitidos: valores extremos de un error permitido dados por medio de reglamentos o especificaciones para un instrumento de medida.

Escala: conjunto ordenado de signos en el dispositivo indicador y que representan los posibles valores que puede tomar la magnitud a medir.

Estabilidad: aptitud de un instrumento de medida para conservar constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo.

Exactitud: (en inglés *accuracy*) aptitud de un instrumento de medida para proporcionar respuestas próximas al valor convencionalmente verdadero.

Fiabilidad: también se denomina fidelidad, en inglés *precision*, es la facultad, en este caso, referida a un instrumento de medida, para realizar una función bajo condiciones determinadas, durante un tiempo. Se expresa con un valor numérico que nos indica la probabilidad de que dicha función se cumpla. Conviene reseñar que no guarda relación con la exactitud.

Fondo de escala: (en inglés *full-scale reading*) máximo valor que puede medir el instrumento o del que se obtiene la lectura.

Histéresis: (en inglés *hysteresis*) es la propiedad presente en ciertos instrumentos de medición que provoca que su curva de medida difiera dependiendo de que las lecturas se hagan de forma ascendente o descendente. Los parámetros que permiten la cuantificación de esta característica son la histéresis máxima de entrada y la histéresis máxima de salida.

Incertidumbre: es el parámetro cuantificador de la precisión de un instrumento. La incertidumbre de medida es una característica individual del mismo que se obtiene tras su calibración. Se representa como (\pm), que nos indica el error que podemos cometer al medir con dicho instrumento.

Intervalo de medida: módulo de la diferencia entre los dos límites de un rango nominal.

Justeza: aptitud de un instrumento de medida para proporcionar indicaciones exentas de error sistemático.

Linealidad: (en inglés *linearity*) la lectura de los instrumentos de medida es deseable que sea linealmente proporcional a la cantidad medida, esto significa que debe resultar posible trazar una línea recta que haga corresponder cada valor de la cantidad medida con la lectura de salida. La no linealidad del instrumento o equipo se define como la máxima desviación o residuo de las lecturas respecto a dicha recta.

Rango de medida: conjunto de valores del mensurando para los que el error de un instrumento de medida se supone comprendido entre los límites especificados.

Rango nominal: (en inglés *range*) el rango define los valores mínimo o límite inferior *lower range limit*, y máximo o límite superior, *upper range limit* de lectura para los cuales el equipo ha sido diseñado.

Repetibilidad: (en inglés *repeatability*) aptitud de un instrumento de medida para proporcionar indicaciones muy próximas durante la aplicación repetida del mismo mensurando manteniendo las mismas condiciones de medida.

Reproducibilidad: (en inglés, *reproducibility*) es un término equivalente a la fidelidad cuando las medidas son tomadas de manera que entre cada una de ellas se producen cambios en las condiciones ambientales, en el observador, en la localización o en los intervalos de medida.

Resolución de dispositivo visualizador: la menor diferencia de indicación de un dispositivo visualizador que puede percibirse de una forma significativa.

Respuesta característica: relación entre una señal de entrada y la respuesta correspondiente en condiciones definidas.

Sensibilidad de la medida: (en inglés *sensitivity of measurement*) es la variación relativa de la salida del instrumento frente a un incremento en la cantidad medida.

Sensibilidad ante perturbaciones: (en inglés *sensitivity to disturbance*). Hay que tener en cuenta que todas las especificaciones indicadas por el fabricante u obtenidas por calibración solo serán válidas en condiciones de funcionamiento del instrumento o equipo en cuanto a presión, temperatura u otras magnitudes de influencia, pero si se producen cambios en ellas las características estáticas del instrumento pueden experimentar variaciones que pueden afectar al mismo de dos formas diferentes; **deriva de paso por cero**, en inglés *zero drift/offset*, consiste en una lenta variación con el tiempo del valor de paso por cero. Este cambio suele tener lugar como consecuencia de las variaciones de temperatura y genera el desplazamiento de la lectura. Otra de las consecuencias es la denominada **deriva de la sensibilidad**, en inglés *sensitivity drift/scale factor drift*, que es la variación que se produce en la sensibilidad del instrumento como consecuencia de cambios en las condiciones ambientales.

Tolerancia: término íntimamente relacionado con la exactitud y define el máximo error esperado en un cierto valor. No es una característica estática del instrumento de medida.

Tiempo de respuesta: intervalo de tiempo comprendido entre el instante en el que la señal de entrada sufre un cambio brusco especificado y el instante en el cual la señal de salida alcanza y permanece dentro de los límites especificados alrededor de su valor final en régimen estable.

Transparencia: aptitud de un instrumento de medida para no alterar el mensurando.

Umbral de discriminación: es la máxima variación de la señal de entrada que no provoca variación detectable de la respuesta de un instrumento de medida, siendo la variación de la señal de entrada lenta y monótona. (El umbral de disminución puede depender del ruido, interno o externo, o del rozamiento o del valor de la señal de entrada).

Valor nominal: valor redondeado o aproximado de una característica de un instrumento de medida que sirve de guía para su utilización.

Zona muerta: (en inglés *dead space*) la zona muerta de un instrumento se define como el rango de entrada para el cual no se obtiene lectura de salida. Los instrumentos con histéresis presentan generalmente zona muerta, no obstante, equipos e instrumentos sin histéresis pueden presentarla también.

Veracidad de medida: proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia.

La mayor parte de las definiciones proporcionadas en este apartado proceden del CEM (Centro Español de Metrología) y del VIM (Vocabulario Internacional de Metrología).

2.1.2. Condiciones de las mediciones

En cualquier instrumento de medida es importante conocer su comportamiento ante dos situaciones denominadas:

- Repetibilidad.
- Reproducibilidad.

Repetibilidad: un conjunto de mediciones de una misma magnitud se realiza en condiciones de repetibilidad, cuando lo lleva a cabo el mismo operario utilizando el mismo instrumento, el mismo método, en el mismo laboratorio y en intervalos de tiempo pequeños.

Reproducibilidad: un conjunto de mediciones de la misma magnitud se realiza en condiciones de reproducibilidad cuando es llevado a cabo por distintos operarios con distintos instrumentos en diferentes laboratorios y/o en intervalos de tiempo grandes. Cualquier medición debe estar documentada de tal modo que permita su repetición si se trata de los mismos instrumentos en el mismo lugar, o su reproducción, en el sentido de recrear las condiciones en las que se llevó a cabo.

2.1.2.1. Clasificación de métodos de medida

Dado que la clasificación de instrumentos y equipos de medida puede realizarse mediante diferentes y variados criterios, las clasificaciones más habituales se basan en cuestiones tales como las siguientes:

- Las magnitudes que comparan.
- El método de medida empleado.
- El sistema de amplificación.

2.1.2.1.1. Por las magnitudes que comparan

Siguiendo este criterio, el método de medida puede ser directo, indirecto, absoluto e incremental o por comparación.

Método directo: se trata de un método directo cuando al aplicar el instrumento o equipo de medir al mensurando se obtiene sin mediar ninguna otra operación el valor de la magnitud buscada.

Método indirecto: se denomina así a un método que implica conocer o medir previamente unas magnitudes a partir de las cuales se calcula el valor de la magnitud buscada.

Método absoluto: este método implica que el valor de la magnitud buscada se obtiene aplicando un elemento con un instrumento, pero sin necesidad de que intervenga un patrón.

Método incremental, por comparación: este método se efectúa siempre que en el proceso de medida, además del mensurando y del instrumento, interviene un patrón de valor conocido y el resultado obtenido es la diferencia, positiva o negativa y muy pequeña entre el valor del mensurando y el del patrón.

2.1.2.1.2. Por el método de medida empleado

Siguiendo esta clasificación los métodos empleados pueden ser: desviación, cero u oposición, sustitución y recuento.

Método desviación: agrupa todos aquellos métodos en los cuales el valor del mensurando se determina por la desviación de un dispositivo indicador. Lo más usual es que sobre una escala, el índice se desplace y, al alcanzar la magnitud medida, se establezca permitiendo la lectura. Ej. Las máquinas medidoras de tres coordenadas (MMC).

Método cero, oposición: son aquellos métodos en los que el indicador por efecto de la magnitud tomada como patrón y el mensurando se equilibran dando un resultado de cero. Ej. Comparación de masas en una balanza de dos platillos.

Método de sustitución: en este método la magnitud a medir es sustituida por otra de la misma clase, que además tiene un valor conocido, y elegida de tal modo que se obtiene la misma indicación en el instrumento medidor. Ej. Medidas en balanza de platillo único.

Método de recuento o conteo: en este método la magnitud a medir tiene carácter discreto y lo que se lleva a cabo es un recuento.

2.1.2.1.3. Por el sistema de amplificación

Los instrumentos y equipos metrológicos de precisión tienen cada vez mayores sensibilidades por lo que deben incorporar sistemas de amplificación a su cadena de medición que sean potentes, pero que al mismo tiempo no distorsionen la señal de entrada. En los instrumentos de medida se utilizan:

- Amplificadores mecánicos.
- Amplificadores ópticos.
- Amplificadores neumáticos.
- Amplificadores electrónicos.

Amplificación mecánica: amplificación de un pequeño movimiento mediante un sistema mecánico es el método más sencillo y también el más antiguo en metrología. Se aplica ampliamente e incluso se puede combinar con otros tipos de amplificación. Los sistemas de amplificación mecánica pueden realizarse a través de los siguientes sistemas:

- Brazo de palanca.

- Tren de engranajes.
- Plano inclinado.
- Tornillo.
- Sistema de deformación elástica.
- Método de lámina arrollada sobre cilindro.

Amplificación óptica: este sistema puede llevarse a cabo mediante dos métodos diferentes, dependiendo de que el rayo luminoso actúe como índice de la escala o bien se concentren rayos paralelos en un punto único y se amplifiquen imágenes proyectadas. Según se utilice uno u otro, se tendrá:

- Amplificación por reflexión.
- Amplificación por proyección.

Amplificación neumática: los sistemas neumáticos miden sin contacto entre partes mecánicas y utilizan captadores sencillos y muy resistentes. Las mediciones por amplificación neumática se basan en las variaciones de caudal del aire cuando sale a través de una boquilla de un circuito al exterior. Existen varios procedimientos de medición posibles:

- Procedimientos debitométricos.
- Procedimientos manométricos.
- Procedimientos tacométricos.

Amplificación electrónica: la función que tienen en la metrología los transductores electrónicos consiste en transformar las variaciones de longitud o bien las irregularidades existentes en una superficie en variaciones eléctricas proporcionales a ellas y que pueden ser detectadas y amplificadas por los siguientes procedimientos:

- Procedimientos analógicos.
- Procedimientos digitales.

2.1.3. Comprobaciones de exactitud

Antes de medir con un instrumento es necesario siempre (incluso si el instrumento está recién calibrado) proceder al menos a la comprobación de la exactitud de uno de los valores de su escala, es decir, es preceptivo realizar un

control de error. Esto ha de ser llevado a cabo previamente, aunque existen dos tipos diferentes de comprobación de exactitud o control de error, dependiendo de sobre qué cifra se realiza:

- Puesta a cero.
- Comprobación de exactitud.

Puesta a cero: es una comprobación o control de error que se realiza sobre el valor cero de la escala del instrumento. Solo es posible llevarla a cabo cuando el instrumento contiene en el intervalo de valores de su escala ese valor (0). Es una sencilla operación que se realiza colocando el instrumento en posición de cerrado (juntando sus palpadores o bocas de medida) y comprobando que los trazos para la posición cero están correctamente alineados, sin presentar desfase alguno. Esta operación puede revelar desajustes en el instrumento que en ciertos instrumentos podrán corregirse y en otros revelan la existencia de desgastes que lo hacen inservible o incluso podrían poner de manifiesto otros daños o defectos. Para realizar la puesta a cero solo se necesita el instrumento.

Comprobación de exactitud: algunas personas la denominan impropriamente «puesta a cero indirecta», pero no es una puesta a cero, puesto que el cero no está incluido en el campo de medida de ese instrumento. Se trata, por tanto, de realizar una comprobación de exactitud sobre uno de los valores de la escala de medida del mismo, generalmente sobre el valor menor, y no se puede realizar sin la ayuda de un patrón. Algunos de los instrumentos que no poseen el cero en su escala incorporan el correspondiente patrón que materializa una determinada magnitud incluida en la misma y que permite realizar dicha comprobación. Por tanto, cuando se precisen, habrá que tener en cuenta que también es preciso disponer de los patrones correspondientes para realizar las comprobaciones.

2.1.4. Métodos e instrumentos de medida

2.1.4.1. Controles metrológicos

En metrología existen diferentes tipos de controles que poseen características específicas, y que son los siguientes:

- Mediciones absolutas.
 - Directas.
 - Indirectas. Un subtipo de estas lo constituyen las mediciones por transferencia.

- Mediciones no absolutas, diferenciales o por comparación.
- Verificaciones.

2.1.4.2. Medición

Medir es, por definición, comparar una magnitud dada con otra que se toma como unidad, y observar cuántas veces la primera está contenida en la segunda. La medición es un proceso a través del cual se alcanza un resultado numérico, ya sea el buscado u otro relacionado con el que permite calcularlo.

Las mediciones pueden ser definidas desde un punto de vista metrológico, como operaciones que conducen indefectiblemente a resultados numéricos concretos.

Medición directa: cuando por medio del instrumento de medición podemos acceder a la magnitud cuyo valor deseamos conocer, decimos que esa medición es directa y, por supuesto, absoluta.

Medición indirecta: en ocasiones no resulta posible medir la magnitud que deseamos conocer directamente, por causas que pueden ser muy diversas (mala accesibilidad, carencia del instrumento adecuado, porque la medida buscada no está materializada en la pieza, etc.), pero sí podemos medir otra que está relacionada con ella, y a través de la cual puede obtenerse, en tal caso decimos que tal medición es indirecta y lógicamente también absoluta.

Medición por transferencia: un caso particular de medición indirecta lo constituyen las mediciones por transferencia, que se realizan con instrumentos que se adaptan a la magnitud a medir en una pieza, pero que no están dotados de escala. Posteriormente la magnitud que reflejan será medida con otro instrumento que posea la escala adecuada para arrojar un resultado numérico.

Mediciones por comparación: también llamadas diferenciales o no absolutas. Son aquellas en las que se obtiene un resultado numérico concreto, pero que no se corresponde con el valor total de la magnitud medida, sino que expresa la diferencia positiva o negativa de la misma con respecto al valor de un patrón que se toma como referencia.

Verificaciones: es un control metrológico, pero no una medición. A través del mismo, se obtiene como resultado no un valor numérico, sino un atributo, que sirve para asegurar la conformidad o no conformidad del elemento controlado con respecto a una cierta condición preestablecida que se verifica, por ejemplo,

comprobar o controlar si una pieza está fuera o dentro de los límites de una tolerancia determinada, si es o no conforme respecto a ella.

2.1.4.3. Instrumentos metroológicos

Instrumentos de medida directa: son aquellos que permiten cuantificar directamente la magnitud buscada. En ocasiones un instrumento puede realizar tanto mediciones directas como indirectas e incluso puede servir para realizar verificaciones si así se precisa.

Instrumentos de medida indirecta: son aquellos que cuantifican una magnitud relacionada con la que se desea conocer mediante una simple operación aritmética, una relación trigonométrica o planteando un sistema de ecuaciones.

Instrumentos de transferencia: son instrumentos que carecen de escala de medida, se adaptan a la magnitud a medir y la magnitud que reflejan se coteja con una escala para proporcionar su valor numérico.

Instrumentos de medida por comparación o comparadores: son instrumentos que comparan la magnitud que se desea medir con otra de referencia, e indican, generalmente con gran precisión, la diferencia, positiva o negativa, existente entre una y otra.

Instrumentos de verificación: son instrumentos que no poseen escalas de medida, ni necesitan cualificación por parte de quienes los utilizan para leer o interpretar resultados. Sirven para comprobar la validez o invalidez de grandes series de piezas de forma rápida y económica. Es decir, sirven para comprobar el cumplimiento de un requisito dimensional como es conocer si una determinada pieza o elemento está incluida o no dentro de una tolerancia determinada. Este tipo de instrumentos son dobles, ya que deben materializar los extremos o valores límites de una tolerancia, mínimo y máximo. Por ello, requieren un doble chequeo, y suelen denominarse «pasa/no pasa», ya que la dimensión a comprobar debe entrar o encajar para un valor y no debe hacerlo para el otro, lo que indica que está incluida en el intervalo, aunque esto no nos permite saber el valor numérico, es decir, cuánto mide.

2.2. Bloques patrón longitudinales (01.02)

Los bloques patrón longitudinales constituyen la medida materializada más exacta que puede conseguirse en metrología industrial y a partir de la cual se calibran los restantes instrumentos de medición.

Los bloques patrón longitudinales, también denominados calas o bloques, son piezas macizas de acero o de carburo que también se fabrican en materiales cerámicos, con forma paralelepípedica de sección rectangular, que entre dos de sus caras opuestas materializan una longitud determinada, que llevan grabada, con elevada precisión. Los bloques suelen suministrarse por juegos, según unas longitudes nominales elegidas, de forma que, por adición de varios, se puede disponer de cualquier valor nominal existente dentro de su campo de utilización con escalonamientos de hasta $0.5\ (\mu\text{m})$. Aunque también pueden conseguirse sueltos de dimensiones diferentes.

Los bloques patrón también son conocidos como «bloques Jo» o calas Johansson, pues fueron patentados en 1901 por el ingeniero sueco Carl Edvard Johansson como *Gauge block set for precision Measurement*, quien los ideó cuando trabajaba en una fábrica de rifles en Suecia. Tienen una particularidad importante, y es que sus caras de medida poseen tal calidad de acabado, no solo en cuanto a paralelismo, sino también en cuanto a rugosidad y planitud, que tienen la capacidad de adherirse entre sí solo con deslizarlas, una frente a otra, manualmente, pudiendo formarse agrupamientos estables que reflejen con gran precisión un valor determinado, el que se precise con los escalonamientos anteriormente indicados, y ahí radica su enorme utilidad. Los bloques patrón pueden obtenerse en sistema métrico o en sistema inglés, según se requiera.

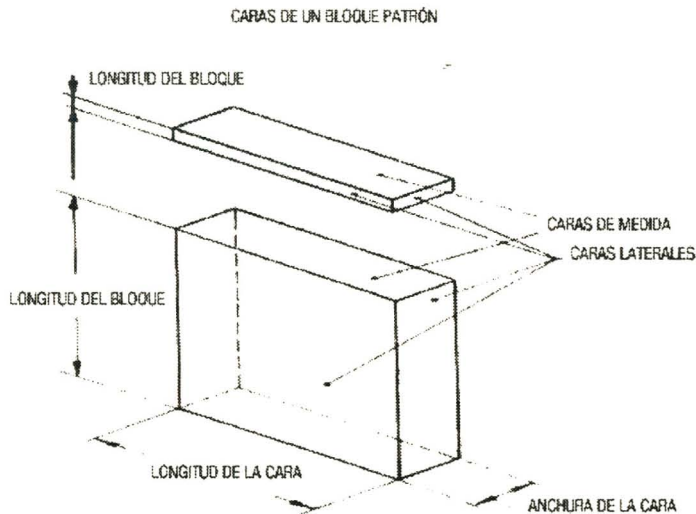


Figura 1. Bloque patrón longitudinal, partes.



Figura 2. Juego de bloques patrón de 112 bloques. (Mitutoyo).

Los bloques patrón se suministran en diferentes calidades o grados de precisión dependiendo de la utilización que de ellos se requiera, y sus desviaciones máximas admisibles se obtienen a partir de las leyes recogidas en la Tabla 1 y que provienen de la norma UNE 4041 de Bloques Patrón. La construcción de bloques patrón y sus condiciones vienen recogidas por la norma ISO 3650 1998 y la norma ASME B89. 19-2002

Especificaciones de Desviaciones: ASME B89.1.9-2002 (EE. UU.)							
U		Grado K		Grado 00		Grado 0	
		Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud	Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud	Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud
	hasta 0.5	$\pm 0.30 \mu\text{m}$	$0.05 \mu\text{m}$	$\pm 0.10 \mu\text{m}$	$0.05 \mu\text{m}$	$\pm 0.14 \mu\text{m}$	$0.10 \mu\text{m}$
mayor a 0.5	hasta 10	$\pm 0.20 \mu\text{m}$	$0.05 \mu\text{m}$	$\pm 0.07 \mu\text{m}$	$0.05 \mu\text{m}$	$\pm 0.12 \mu\text{m}$	$0.10 \mu\text{m}$
mayor a 10	hasta 25	$\pm 0.30 \mu\text{m}$	$0.05 \mu\text{m}$	$\pm 0.07 \mu\text{m}$	$0.05 \mu\text{m}$	$\pm 0.14 \mu\text{m}$	$0.10 \mu\text{m}$
mayor a 25	hasta 50	$\pm 0.40 \mu\text{m}$	$0.06 \mu\text{m}$	$\pm 0.10 \mu\text{m}$	$0.06 \mu\text{m}$	$\pm 0.20 \mu\text{m}$	$0.10 \mu\text{m}$
mayor a 50	hasta 75	$\pm 0.50 \mu\text{m}$	$0.06 \mu\text{m}$	$\pm 0.12 \mu\text{m}$	$0.06 \mu\text{m}$	$\pm 0.25 \mu\text{m}$	$0.12 \mu\text{m}$
mayor a 75	hasta 100	$\pm 0.60 \mu\text{m}$	$0.07 \mu\text{m}$	$\pm 0.15 \mu\text{m}$	$0.07 \mu\text{m}$	$\pm 0.30 \mu\text{m}$	$0.12 \mu\text{m}$

Especificaciones de Desviaciones: ASME B89.1.9-2002 (EE. UU.)							
U		Grado K		Grado 00		Grado 0	
		Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud	Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud	Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud
mayor a 100	hasta 150	$\pm 0.80 \mu\text{m}$	$0.08 \mu\text{m}$	$\pm 0.20 \mu\text{m}$	$0.08 \mu\text{m}$	$\pm 0.40 \mu\text{m}$	$0.14 \mu\text{m}$
mayor a 150	hasta 200	$\pm 1.00 \mu\text{m}$	$0.09 \mu\text{m}$	$\pm 0.25 \mu\text{m}$	$0.09 \mu\text{m}$	$\pm 0.50 \mu\text{m}$	$0.16 \mu\text{m}$
mayor a 200	hasta 250	$\pm 1.20 \mu\text{m}$	$0.10 \mu\text{m}$	$\pm 0.30 \mu\text{m}$	$0.10 \mu\text{m}$	$\pm 0.60 \mu\text{m}$	$0.16 \mu\text{m}$
mayor a 250	hasta 300	$\pm 1.40 \mu\text{m}$	$0.10 \mu\text{m}$	$\pm 0.35 \mu\text{m}$	$0.10 \mu\text{m}$	$\pm 0.70 \mu\text{m}$	$0.18 \mu\text{m}$
mayor a 300	hasta 400	$\pm 1.80 \mu\text{m}$	$0.12 \mu\text{m}$	$\pm 0.45 \mu\text{m}$	$0.12 \mu\text{m}$	$\pm 0.90 \mu\text{m}$	$0.20 \mu\text{m}$
mayor a 400	hasta 500	$\pm 2.20 \mu\text{m}$	$0.14 \mu\text{m}$	$\pm 0.50 \mu\text{m}$	$0.14 \mu\text{m}$	$\pm 1.10 \mu\text{m}$	$0.25 \mu\text{m}$
mayor a 500	hasta 600	$\pm 2.60 \mu\text{m}$	$0.16 \mu\text{m}$	$\pm 0.65 \mu\text{m}$	$0.16 \mu\text{m}$	$\pm 1.30 \mu\text{m}$	$0.25 \mu\text{m}$
mayor a 600	hasta 700	$\pm 3.00 \mu\text{m}$	$0.18 \mu\text{m}$	$\pm 0.75 \mu\text{m}$	$0.18 \mu\text{m}$	$\pm 1.50 \mu\text{m}$	$0.30 \mu\text{m}$
mayor a 700	hasta 700	$\pm 3.40 \mu\text{m}$	$0.20 \mu\text{m}$	$\pm 0.85 \mu\text{m}$	$0.20 \mu\text{m}$	$\pm 1.70 \mu\text{m}$	$0.30 \mu\text{m}$
mayor a 800	hasta 900	$\pm 3.80 \mu\text{m}$	$0.20 \mu\text{m}$	$\pm 0.95 \mu\text{m}$	$0.20 \mu\text{m}$	$\pm 1.90 \mu\text{m}$	$0.35 \mu\text{m}$
mayor a 900	hasta 1000	$\pm 4.20 \mu\text{m}$	$0.25 \mu\text{m}$	$\pm 1.00 \mu\text{m}$	$0.25 \mu\text{m}$	$\pm 2.00 \mu\text{m}$	$0.40 \mu\text{m}$

Especificaciones de Desviaciones: ASME B89.1.9-2002 (EE. UU.)					
U		Grado 1		Grado 2	
		Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud	Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud
	hasta 0.5	$\pm 0.30 \mu\text{m}$	$0.16 \mu\text{m}$	$\pm 0.60 \mu\text{m}$	$0.30 \mu\text{m}$
mayor a 0.5	hasta 10	$\pm 0.20 \mu\text{m}$	$0.16 \mu\text{m}$	$\pm 0.45 \mu\text{m}$	$0.30 \mu\text{m}$

Especificaciones de Desviaciones: ASME B89.1.9-2002 (EE. UU.)					
U		Grado 1		Grado 2	
		Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud	Desviaciones límite de la longitud en cualquier punto	Tolerancia para la variación en longitud
mayor a 10	hasta 25	$\pm 0.30 \mu\text{m}$	$0.16 \mu\text{m}$	$\pm 0.60 \mu\text{m}$	$0.30 \mu\text{m}$
mayor a 25	hasta 50	$\pm 0.40 \mu\text{m}$	$0.18 \mu\text{m}$	$\pm 0.80 \mu\text{m}$	$0.30 \mu\text{m}$
mayor a 50	hasta 75	$\pm 0.50 \mu\text{m}$	$0.18 \mu\text{m}$	$\pm 1.00 \mu\text{m}$	$0.35 \mu\text{m}$
mayor a 75	hasta 100	$\pm 0.60 \mu\text{m}$	$0.20 \mu\text{m}$	$\pm 1.20 \mu\text{m}$	$0.35 \mu\text{m}$
mayor a 100	hasta 150	$\pm 0.80 \mu\text{m}$	$0.20 \mu\text{m}$	$\pm 1.60 \mu\text{m}$	$0.40 \mu\text{m}$
mayor a 150	hasta 200	$\pm 1.00 \mu\text{m}$	$0.25 \mu\text{m}$	$\pm 2.00 \mu\text{m}$	$0.40 \mu\text{m}$
mayor a 200	hasta 250	$\pm 1.20 \mu\text{m}$	$0.25 \mu\text{m}$	$\pm 2.40 \mu\text{m}$	$0.45 \mu\text{m}$
mayor a 250	hasta 300	$\pm 1.40 \mu\text{m}$	$0.25 \mu\text{m}$	$\pm 2.80 \mu\text{m}$	$0.50 \mu\text{m}$
mayor a 300	hasta 400	$\pm 1.80 \mu\text{m}$	$0.30 \mu\text{m}$	$\pm 3.60 \mu\text{m}$	$0.50 \mu\text{m}$
mayor a 400	hasta 500	$\pm 2.20 \mu\text{m}$	$0.35 \mu\text{m}$	$\pm 4.40 \mu\text{m}$	$0.60 \mu\text{m}$
mayor a 500	hasta 600	$\pm 2.60 \mu\text{m}$	$0.40 \mu\text{m}$	$\pm 5.00 \mu\text{m}$	$0.70 \mu\text{m}$
mayor a 600	hasta 700	$\pm 3.00 \mu\text{m}$	$0.45 \mu\text{m}$	$\pm 6.00 \mu\text{m}$	$0.70 \mu\text{m}$
mayor a 700	hasta 700	$\pm 3.40 \mu\text{m}$	$0.50 \mu\text{m}$	$\pm 6.50 \mu\text{m}$	$0.80 \mu\text{m}$
mayor a 800	hasta 900	$\pm 3.80 \mu\text{m}$	$0.50 \mu\text{m}$	$\pm 7.50 \mu\text{m}$	$0.90 \mu\text{m}$
mayor a 900	hasta 1000	$\pm 4.20 \mu\text{m}$	$0.60 \mu\text{m}$	$\pm 8.00 \mu\text{m}$	$1.00 \mu\text{m}$

Tabla 1. Desviaciones máximas en bloques patrón longitudinales en función de sus calidades.

El juego de bloques más comúnmente utilizado es el constituido por 112 piezas y que posee los escalonamientos que muestra la Tabla 2. Este juego permite formar todos los nominales existentes entre 3 mm y 100 mm con un escalonamiento de 0.5 (μm). Además, pueden formarse gran cantidad de nominales fuera de dicho intervalo, aunque con otros escalonamientos, pero no de forma completa y continua.

Descripción del contenido de un juego de 112 bloques patrón		
Nominales	Escalonamiento	Cantidad de bloques
1.005	--	1
1.001 a 1.009	0.001	9
1.01 a 1.49	0.001	49
0.5 a 24.5	0.5	49
25 a 100	25	4
	Total:	112

Tabla 2. Juego de 112 bloques patrón: nominales, escalonamientos y cantidades.

Cuando deseamos formar un cierto nominal, comprendido dentro del campo de aplicación del juego de bloques, debemos comenzar eligiendo aquel bloque que permita materializar la cifra significativa más pequeña, 0.5 (μm) y, a continuación, los que correspondan a las restantes cifras significativas, siempre de derecha a izquierda. Finalmente, se seleccionarán los bloques que completen la parte entera en milímetros y se analizará la posibilidad de conseguir ese mismo nominal utilizando un número menor de bloques.

Empleando un máximo de cuatro bloques, es posible componer cualquier nominal entero (μm).

El bloque correspondiente a (0.5 mm), que en realidad es una galga, deberá manejarse lo menos posible y salvo que sea estrictamente necesario, ya que, debido a su pequeño espesor, es muy frágil, puede flexar y su manipulación resulta muy delicada, pudiendo deteriorarse con facilidad.

Las principales utilidades de los bloques patrón son las siguientes: servir como patrones de disseminación, formar el primer nivel del plan de calibración del centro donde se encuentren y calibrar a los restantes instrumentos de medida, ser utilizados en mediciones de gran precisión y también ser empleados como medida en métodos diferenciales.

Los bloques patrón longitudinales se complementan como se ha expuesto anteriormente, con accesorios que permiten materializar magnitudes tanto para contrastar instrumentos de medida de exteriores como de interiores, así como servir de referencia en el trazado, etc.

Sobre bloques patrón consultar UNE 82-311-85, UNE en ISO 3650.

2.2.1. Grados de bloques patrón

Los bloques patrón pueden tener diferentes grados o calidades, la elección de un grado concreto dependerá del uso al que se destinen. La Tabla 3 muestra los distintos grados existentes y la utilización apropiada para cada uno.

Grado	Utilización
K	Uso dentro de una sala de inspección o laboratorio de calibración. Utilizados como maestros y con certificados sobre otros bloques patrón que se calibran por comparación.
0	Indicados para un uso en un entorno controlado por personal especializado. Patrones de referencia para equipos de medición de alta precisión y para calibración de bloques patrón de grado menor.
1	Utilizados dentro de áreas de inspección para verificar la exactitud de medidores automáticos y ajustar dispositivos de medición electrónicos.
2	Diseñados para uso en taller para ajustar y calibrar los aparatos, así como los instrumentos de medición.

Tabla 3. Calidades de los bloques patrón para los diferentes usos.

2.2.2. Accesorios (01.03)

Los bloques patrón suelen suministrarse junto con una caja de accesorios que generalmente contienen:

- Soportes o alojamientos (para medidas exteriores), en horizontal o en vertical y de diferentes dimensiones: 20-50-100-200 mm.

- Juegos de mordazas o extremos de cierre para materializar con los bloques medidas interiores y poder contrastar instrumentos de medida de interiores.
- Puntas de trazado.
- Espigas.

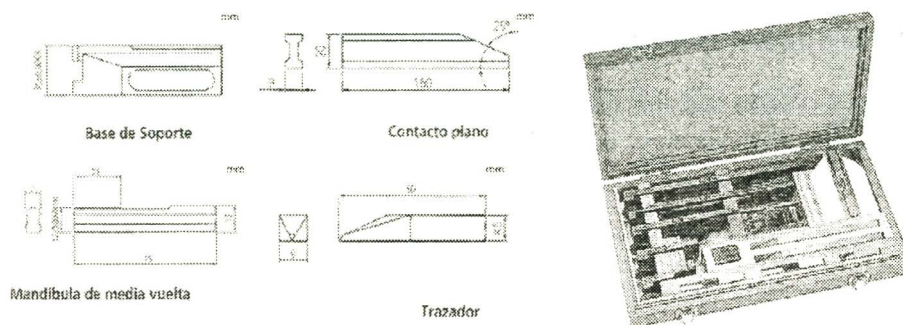


Figura 3. Estuche de accesorios de los bloques patrón y componentes. (Mitutoyo).

Con la ayuda de los accesorios, los bloques pueden agruparse y manejarse con seguridad y comodidad en pilas, alojándose en los soportes sin tener que tocarlos, pudiendo transportarlos agrupados, los agrupamientos sirven para contrastar micrómetros de exteriores e interiores entre otros usos, realizar calibraciones de diversos instrumentos como los pies de rey universales, ya que incluyen entre otros elementos mordazas de extremos de mayor altura que los bloques y realizados con la precisión necesaria para permitir contrastar instrumentos de medidas interiores.

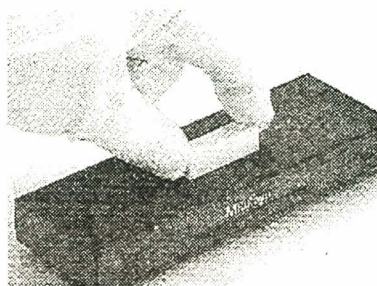
2.2.3. Manejo de los bloques patrón

Los bloques patrón requieren un manejo cuidadoso que evite su deterioro y aproveche al máximo las calidades de medición que a través de ellos se pueden conseguir. Por ello, es necesario tomar algunas precauciones para su manejo y conservación que a continuación se citan:

- Se ha de trabajar con los bloques sobre superficies blandas (goma, gamuza...), de lo contrario, de sufrir incluso un pequeño golpe, se deteriorarían.
- Debemos evitar manipular los bloques por sus caras de medida.

- No se tomarán varios bloques a la vez en la mano para evitar posibles ralladuras.
- Al manipular los bloques, si se hace con las manos, debemos evitar que estas estén sucias o húmedas, debiendo utilizarse guantes o pinzas especiales.
- Los bloques no deben dejarse en atmósferas húmedas, corrosivas, que contengan abrasivos, ni estar expuestos a radiaciones térmicas, a una luz que no sea fría o a la radiación solar.
- Se evitará manejarlos en la proximidad de campos magnéticos o eléctricos. Los bloques imantados atraerían limaduras que deteriorarían las caras de medida y falsearían el resultado de las medidas. Por ello, en caso de que se magneticen, deben ser desmagnetizados; nos referimos a bloques metálicos.
- Antes de proceder a la utilización de los bloques es preciso limpiarlos cuidadosamente utilizando disolventes adecuados (alcohol puro, tetracloruro de carbono, tricloroetilenos, etc.).
- Los bloques de medida no se deben mantener demasiado tiempo en las manos para evitar su calentamiento porque al hacerlo perderíamos la alta precisión que aportan.
- Las mediciones con bloques deben realizarse a una temperatura lo más próxima a la de referencia (20 °C) que sea posible, de otro modo, se perdería la ventaja de su alta precisión por efecto de la dilatación, aunque para los diferentes usos a los que pueden destinarse, los márgenes de variación de la temperatura de referencia están establecidos por norma.
- Si realizamos un agrupamiento de bloques, lo mantendremos unido solo durante el tiempo estrictamente necesario. Si hubiera que volver a usar el agrupamiento al día siguiente, se haría de nuevo, pero no se dejará montado de un día para otro.
- Nunca se debe forzar un agrupamiento de bloques a que entre en el alojamiento que debe verificar.
- Si un bloque se deteriorase por un golpe, no deberá agruparse con los restantes, ya que los deterioraría al presionar para adherirlo a ellos.

- Una vez se hayan terminado de utilizar los bloques, deben limpiarse cuidadosamente, eliminando las posibles huellas, posteriormente protegerlos con un lubricante adecuado (neutro) y depositarlos nuevamente en su caja.
- Si un bloque patrón presentara una rebaba o suciedad, puede y debe eliminarse utilizando la llamada (piedra de Arkansas).



Eliminación de rebabas

Figura 4. Eliminación de rebabas en un bloque patrón. (Mitutoyo).

2.2.3.1. Agrupamientos, criterios

A menudo es necesario materializar un determinado valor que no se corresponde con el de ninguno de los bloques individualmente, para conseguirlo, se hace uso de los agrupamientos, apilamientos o montajes de bloques.

Como se ha mencionado, los bloques poseen unas características tales de acabado en sus caras de medida que permiten adherirlos ensamblándolos para formar pilas estables.

Para realizar agrupamientos de bloques deben tenerse en cuenta una serie de indicaciones:

- Para agrupar dos bloques se sitúan uno frente a otro cruzándolos en ángulo recto, de forma que sus caras de medida apoyen perfectamente planas una en otra y deslizándolos con suavidad para eliminar la película de aire existente entre ellos y facilitar su adherencia, eso si no se trata de bloques patrón muy finos, en cuyo caso la forma correcta de montaje se muestra a continuación en la Figura 5.

Formas correctas de adherir bloques patrón finos y gruesos

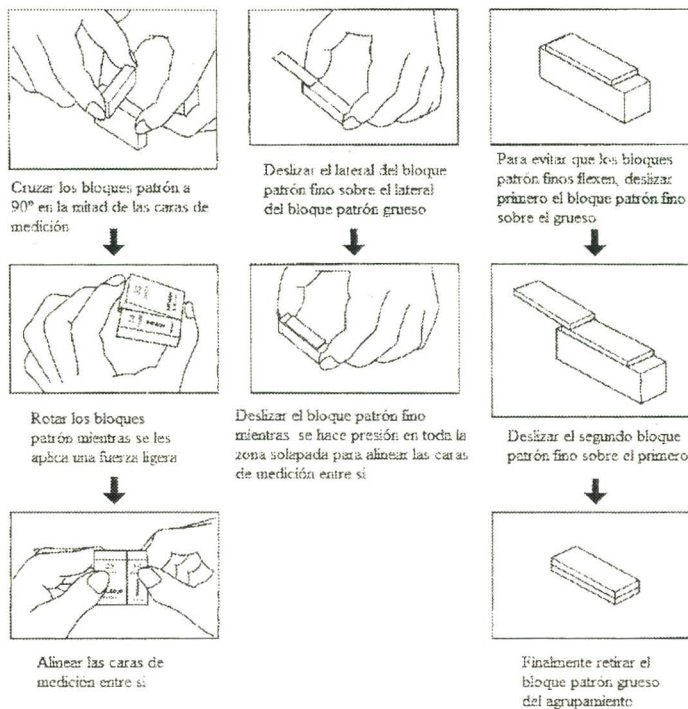


Figura 5. Formas correctas de adherir bloques patrón dependiendo de sus dimensiones. (Mitutoyo).

- Se evitará el uso de los bloques más finos (galgas) salvo que sea estrictamente necesario, porque son muy delicados y pueden deteriorarse al flexar fácilmente.
- El agrupamiento se llevará a cabo con el menor número de bloques posible, pero teniendo en consideración la indicación anterior.
- Los bloques más finos los situaremos en el centro del agrupamiento para protegerlos y los más grandes en los extremos.
- Se procurará que en el agrupamiento exista un cierto equilibrio de valores entre bloques grandes y pequeños.

2.2.3.2. Comprobación del estado de las caras de medida

En ocasiones observamos que un bloque ha perdido su adherencia y se suelta, en tal caso será preciso comprobar si esto se debe a algún golpe o defecto que

impide su unión y comprobar si su superficie de medida está deteriorada. Para saberlo, utilizaremos una mesa de medición ranurada sobre la cual deslizaremos la cara de medida cuyo estado deseamos comprobar, perpendicularmente a la dirección de las ranuras. Si existe una rebaba percibiremos un sonido muy peculiar. Pero si la cara se encuentra en buenas condiciones, no percibiremos ningún tipo de sonido; esto sirve para bloques de calidades intermedias.

En el caso de que la cara de medida de un bloque haya sufrido algún tipo de mella, se eliminará frotándola sobre una piedra de Arkansas que se destina a ese fin.

En el caso de que los defectos superficiales fuesen importantes o bien hubiese una esquina dañada, el bloque deberá ser sustituido para que no deteriore a los restantes. Un bloque deteriorado puede dañar a todos aquellos con los que se adhiera.

Si deseamos comprobar la planitud de la cara de medida de un bloque, utilizaremos paralelas o planos de vidrio óptico que mostrarán los llamados anillos de Newton⁽²⁾ con una distribución determinada, lo que suministrará información fiable sobre estado de planitud que presenta dicha superficie.

(2) Los llamados anillos de Newton son un fenómeno óptico causado por la superposición de dos ondas que proceden de la misma fuente, aunque cada una de ellas es reflejada por una superficie diferente: una plana y otra convexa. Con luz monocromática, el patrón conocido como anillos de Newton se observa como una serie de anillos concéntricos, alternativamente brillantes y oscuros. Los anillos tienen su centro en el punto de contacto entre ambas superficies. La distancia entre ellos responde a una ecuación que permite deducir el radio de curvatura de la superficie. En el caso de la observación de las caras de medida de los bloques patrón, su buen estado de planitud se pone de manifiesto a través de la aparición de líneas paralelas y además equidistantes que indican el paralelismo existente entre ambas superficies, el plano de vidrio y la cara de medida del patrón.

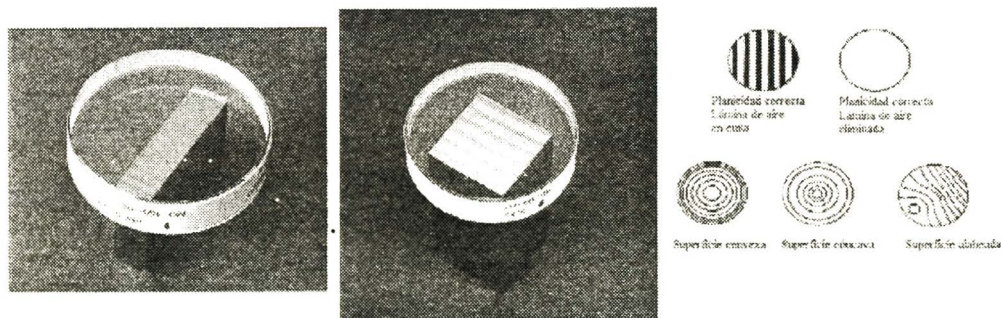


Figura 6. Paralelas o planos de vidrio óptico para la comprobación de la planitud de las caras de medida, interpretación de posibles resultados. (Mitutoyo).

2.2.3.3. Algunos ejemplos de agrupamientos o montajes de bloques

Supongamos que se desea materializar la medida: 22.052 mm

Se procederá de la forma siguiente, de la cifra menor a la mayor:

22.052 Comenzamos por la cifra menor que es el 2, esto implicaría elegir el bloque de valor 0.002, pero no lo haremos así puesto que debemos evitar la utilización de los bloques de menor valor, para ello, utilizaremos el bloque: 1.002.

1.002
1.05
20

22.052

22.052 Necesitamos materializar 0.05 pero como siempre evitamos la utilización de bloques finos, recurrimos al bloque de 1.05.

1.002
1.05
30
28

60.052

22.052 Como hemos utilizado dos unidades, necesitamos el bloque de 20.

Pero si la magnitud fuese 60.052, entonces procederíamos del siguiente modo:

Repartimos las unidades en dos bloques para que el conjunto esté equilibrado.

2.2.4. Calibración de bloques patrón

Sobre bloques patrón de longitudes consultar la Norma UNE-EN ISO 3650: 2000. Especificación geométrica de productos (GPS). Patrones de longitud. Bloques Patrón. Asociación Española de Normalización (AENOR).

Los bloques patrón dependiendo de su grado de calidad pueden calibrarse de las siguientes formas:

- Mediante interferometría óptica.
- Por comparación mecánica.

Interferometría óptica: este sistema de calibración lo pueden llevar a cabo únicamente laboratorios de alto nivel metrológico o bien institutos nacionales de metrología.

Comparación mecánica: es un sistema basado en la comparación de un bloque con otro de referencia calibrado a su vez por interferometría, dependiendo de su tamaño, y que en todo caso posea una longitud conocida y sea trazable con respecto al patrón nacional de longitud.

La calibración de los bloques patrón debe llevarse a cabo en laboratorios acreditados bajo la norma ISO 17025.

En los bloques cortos de (0.5 mm a 100 mm) la calibración se realiza por comparación con otro bloque de igual longitud nominal que haya sido calibrado por interferometría. En los bloques restantes se utilizan para la calibración máquinas denominadas comparadores de bloques patrón, que pueden ser manuales o automáticos, siendo estos últimos más precisos.

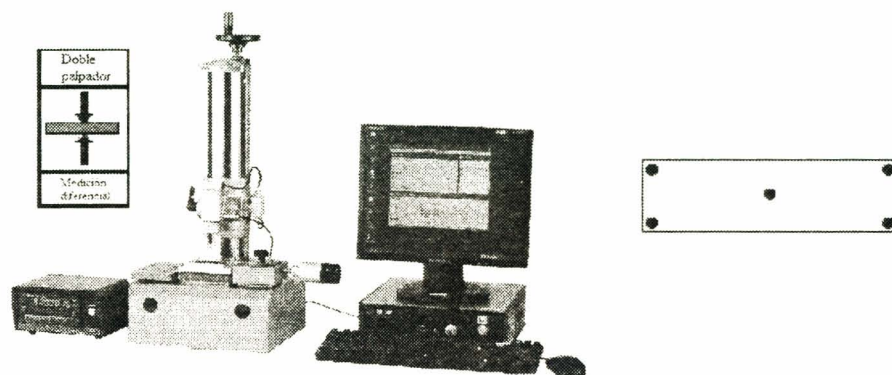


Figura 7. Comparador de bloques patrón y puntos de la cara de medida sobre los que se realiza la comparación. (Mitutoyo).

La calibración de bloques patrón largos se lleva a cabo apoyándolos sobre los llamados puntos de Airy⁽¹⁾

(1).- La denominación procede de George Biddell Airy y en las piezas suelen representarse por puntos o líneas. Los puntos de Airy se utilizan en metrología de precisión cuando se han de apoyar piezas y se desea minimizar la flexión o la inclinación. Los dos puntos de apoyo se colocan simétricamente respecto al centro de la pieza y separados a una distancia (s), siendo $s = L/\sqrt{3}$. Utilizando los puntos de Airy suponiendo que la barra sea recta, de un material homogéneo, isotrópico, y con un comportamiento elástico lineal, al elegir la distancia de los soportes siguiendo la expresión de Airy, se consigue que las caras laterales extremas de la barra así soportada sean verticales y perpendiculares a la base. La expresión de Airy procede de la teoría de vigas de Euler-Bernoulli.



Figura 8. Representación de un bloque patrón largo, la distancia de los puntos de apoyo viene determinada por los puntos de Airy.

Interferómetro láser es un método propio de laboratorio, y de laboratorios de importancia, los interferómetros son utilizados en la medida de planitudes y longitudes, y precisan condiciones ambientales controladas con un sistema de toma de temperatura, presión y humedad por sondas. El interferómetro es un instrumento que utiliza la interferometría de las ondas de luz, para medir con gran precisión longitudes de onda de la misma luz. Existen muchas variantes de este instrumento, pero en todos ellos se utilizan dos haces de luz que recorren dos trayectorias ópticas diferentes, que están determinadas por un sistema de espejos y placas que convergen hasta formar un patrón de interferencia. La interferometría permite el empleo de la longitud de onda de la luz como escala de medida.

Su precisión se basa en:

- Su escala de longitudes de onda luminosas que permanece invariable a lo largo del tiempo.
- La medición se realiza sin contacto físico entre el instrumento y el elemento a medir, eliminando posibles errores por la forma de los palpadores o la presión de medida.
- Las longitudes de onda avanzan en progresión aritmética y constante y sus intervalos son lo suficientemente amplios.
- Las franjas de interferencia producidas por los rayos luminosos son unidades muy pequeñas y poseen la ventaja de que pueden subdividirse.

Existen diferentes clases de interferómetros ópticos, unos sirven para el control de la planitud o planicidad y otros para el de longitudes.

Entre los de longitud los más empleados son los siguientes:

- Interferómetros Michelson.
- Interferómetros Láser.
- Interferómetros Fizeau.

2.3. Pies de rey, calibradores o calibres (02.02)

El pie de rey o calibre universal es un instrumento de medida versátil que ofrece diferentes posibilidades de medición. Con él pueden realizarse las siguientes mediciones:

- Medidas de exteriores, utilizando las mordazas principales.
- Medidas de interiores, utilizando las mordazas afiladas situadas en la parte superior del instrumento.
- Medidas de profundidades o escalonamientos, utilizando la varilla o sonda de profundidades.

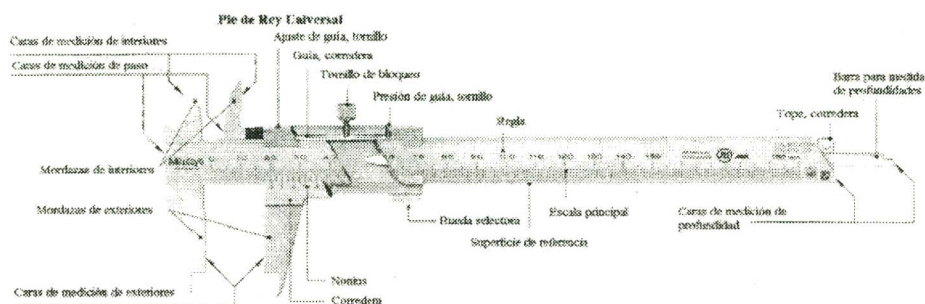


Figura 9. Pie de rey o calibre universal. (Mitutoyo).

El pie de rey es conocido por diversos nombres, se le denomina también calibre, del inglés *calliper*, 'calibrador', o menos frecuentemente cartabón de corredera. Es un instrumento de trazos, y de medida directa, que sirve para la realización de mediciones de longitud, siendo además el instrumento de medida más utilizado en los talleres mecánicos. Consta de una «regla» con una escuadra en uno de sus extremos sobre la que se desliza otra, destinada a indicar la medida en una escala. Este instrumento permite apreciar valores de $1/10$, $1/20$ o $1/50$ de mm dependiendo de su tipo, y se sirve para ello de una escala auxiliar o *nonius* de la que va provisto. En los calibres, escala principal y secundaria, nonio o *nonius* son paralelas entre sí. Los calibres universales pueden contar con una sola escala principal o bien con una regla doblemente graduada que contiene dos escalas principales, una graduada en centímetros y milímetros y la otra en pulgadas y fracciones de pulgadas, cada una de ellas dotada de su correspondiente *nonius*. El extremo izquierdo de la regla lleva adosado en escuadra la mordaza fija. Sobre la regla se desplaza una corredera que puede contener el o los *nonius* correspondientes a las escalas respectivas y también la mordaza móvil.

La escala en pulgadas y su correspondiente *nonius* están situados en la parte superior de la regla y en la parte superior deslizante respectivamente. La escala graduada en centímetros y milímetros está situada en la parte inferior de la regla y su *nonius* correspondiente en la parte deslizante inferior. El calibre universal cuenta además con una varilla o sonda de profundidades alojada a lo largo de la

parte posterior de la regla y que se desplaza sobresaliendo del cuerpo de la misma al separar las mordazas de medida. La medición realizada con la varilla puede ser leída indistintamente en cualquiera de las dos escalas según debamos expresar la magnitud medida en unas o en otras unidades. La varilla sirve para medir tanto profundidades como escalonamientos entre planos.

Los calibres universales cuentan con dos pares de mordazas de medida, un par, las de mayor tamaño para realizar mediciones exteriores, una fija y otra móvil respectivamente, estas mordazas poseen unas superficies de apoyo sobre la que colocar el elemento a medir y ofrecen las siguientes condiciones: buen apoyo para la pieza a medir, planitud controlada y paralelismo entre ambas mordazas, debiendo ajustar perfectamente entre sí. Los extremos de las mordazas se adelgazan pasando a ser afilados para permitir mediciones exteriores en espacios angostos que, de otra forma no podrían hacerse, por no poder introducir la parte ancha y más profunda de las mordazas de medida.

Los calibres o pies de rey universales cuentan, además, con dos mordazas situadas en la parte superior, estas de menor tamaño que las de medidas exteriores, poseen caras de medida rectas y afiladas terminadas en punta y sirven para efectuar medidas interiores tales como diámetros interiores o ranuras.

En la parte deslizante del calibre se sitúa un tornillo de presión para el bloqueo.

Este tipo de calibre, el denominado universal, va provisto de un botón de deslizamiento y freno o de un rodillo de accionamiento, que permite que una vez obtenida la medida se pueda bloquear el instrumento conservando la posición de las escalas y permitiendo así realizar las lecturas con comodidad. Algunos calibres están dotados de un sistema de ajuste fino mediante tornillo para evitar sobrepresiones y los errores que de ellas se derivan.

Sobre pies de rey pueden consultarse las normas UNE 82-316-94, y 82-317-94.

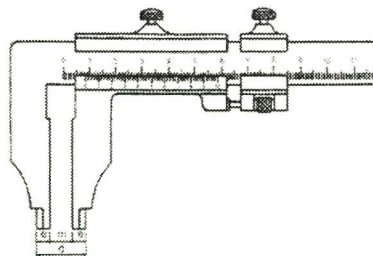


Figura 10. Calibre de tornero, tipo *Nib* sin mordazas superiores.

Existen diferentes tipologías de calibres, una de ellas es el denominado calibre de tornero, en inglés calibre tipo *Nib*, o calibre tipo plumilla, porque la forma de sus mordazas se asemeja a una plumilla. Este calibre o pie de rey cuenta con una sola escala y un único *nonius* que la complementa y carece de mordazas para interiores y de varilla de profundidades. Este tipo de calibre se fabrica también con longitudes más largas que las de los calibres estándar, denominándose calibre de gran capacidad por la longitud de su regla, y puede contar también con mordazas de mayor longitud que las estándar para facilitar el acceso a la medición de piezas que no serían abordables con calibres convencionales. Este instrumento está dotado de un sistema de aproximación fino, mediante el uso de un tornillo de aproximación que sirve para evitar o al menos minimizar el error de Abbe sobre el que se trata a continuación. Con este instrumento, pese a carecer de mordazas para medidas interiores, es posible realizarlas utilizando para ello los extremos de las mordazas de medida de exteriores que presentan para tal fin un escalonamiento en sus extremos. Estos extremos en muchos calibres son planos lo que resulta adecuado para medir ranuras, pero inadecuado para medir pequeños diámetros interiores. Por ello, en algunos calibres los extremos son redondeados para adaptarse mejor a los diámetros interiores que han de medir y evitar errores. La medición de un diámetro interior o de una ranura con este tipo de instrumento es una medida indirecta, ya que al valor leído en las escalas (m) hay que sumarle el doble del espesor de los extremos de las mordazas ($2e$) y el valor medido, sea diámetro o longitud, se calcula como:

$$d = m + 2e$$

Sin embargo, también se fabrican calibres de este tipo que cuentan con un *nonius* adicional para las medidas de interiores y que permiten que el valor leído coincida con el medido, sin tener que añadirle el doble del espesor del extremo de la mordaza, es decir, que el *nonius* adicional permite una lectura directa de interiores. Dicho *nonius* se muestra a continuación en la Figura 11.

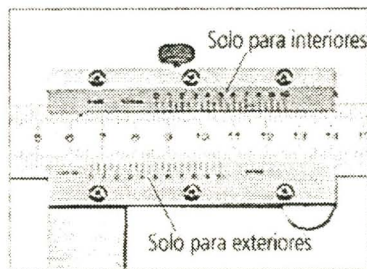


Figura 11. *Nonius* adicional para la medida de interiores directa. (Mitutoyo).

Una clasificación de tipos de pie de rey en función del número de escalas con las que cuenta y de las unidades que emplean, se muestra a continuación en la Tabla 4.

Tipo	N.º Escalas	Unidad o tipo de medición
M	1	Pulgadas y milímetros
M	2	Pulgadas y milímetros
CM	2	Medición de exteriores e interiores

Tabla 4. Tipos de pie de rey en función del número de escalas y unidades.

2.3.1. Indicaciones para medir con un pie de rey

La primera operación a realizar con cualquier instrumento de medida y, por tanto, también con un pie de rey, es un control de error o una comprobación de exactitud, siempre y obligatoriamente previo a la medición, aunque el instrumento haya sido recientemente calibrado. En un pie de rey universal se pueden hacer tres controles de error, dependiendo de que se vaya a utilizar para medidas exteriores, interiores o de profundidades:

- Control de error de las mordazas de medida para medidas exteriores.
- Control de error para las mordazas de medidas interiores.
- Control de error para la sonda o varilla de profundidades o escalonamientos.

Para llevar a cabo el control de error con un pie de rey digital hay que tener en cuenta que este tipo de instrumento dispone de un botón de puesta a cero.

Control de error de las mordazas de medida de exteriores: para realizarlo solo necesitamos el instrumento. Consiste en juntar las mordazas de medida y observar que cuando están cerradas cara contra cara, el trazo de la escala principal y el del *nonius* correspondientes son continuación uno del otro y ambos coincidentes con el valor cero.

Si al juntar las mordazas de medida los trazos no coincidieran entre sí o no coincidieran con el cero esto indicaría un desgaste de las mordazas o de la propia regla, y en ambos casos el instrumento deberá ser desechado no cabiendo ningún tipo de ajuste o reparación.

Otras comprobaciones a realizar previas a la medida, y que deben formar parte de la rutina de uso, son las siguientes: la limpieza del instrumento, especialmente de sus caras de medida; la comprobación del perfecto ajuste de las caras de medida, poniéndolas delante de una fuente de luz para comprobar que no hay rendijas de luz entre ellas; el buen estado de las superficies de las caras de medida, que puede comprobarse con la vista y el tacto; el buen estado de los extremos afilados de las mordazas, comprobando que estén completas sin que les falte alguna parte y también que no estén dobladas ni tengan mellas; el deslizamiento fluido de la parte deslizante a lo largo de la regla; y el frenado o bloqueo del pie de rey, asegurando que el botón de deslizamiento y freno funciona de forma fluida, adecuadamente y sin trabarse.

Si se está utilizando un calibre de tornero o de tipo *nib* para medir se comprobará el correcto funcionamiento del roscado del tornillo de fijación.

Control de las mordazas para medidas interiores: para realizarlo solo necesitamos del instrumento, se colocarán cerradas las mordazas comprobando que en dicha posición los trazos de la escala y su *nonius* son continuación uno del otro y coincidentes con el valor cero.

Otras comprobaciones a realizar con el calibre son el buen estado de las mordazas de interiores que son frágiles, observando que no les falte alguna parte, y que no estén ni dobladas ni dañadas. Enfrentadas las caras rectas de las mordazas y frente a una fuente de luz, se comprobará que una banda de luz uniforme las recorre a lo largo.

Control de la varilla o sonda de profundidades y escalonamientos: para comprobar esta parte del instrumento se colocará el pie de rey apoyado sobre una superficie plana con la base de apoyo en vertical y en la posición de los trazos de escala principal y *nonius* alineados y coincidentes con el cero, la varilla no sobresale de la base de apoyo del pie de rey. Se comprobará también que la varilla se desliza con fluidez por la ranura posterior de la regla y no está doblada. También es necesario comprobar que el botón de deslizamiento y bloqueo cumple su función correctamente.

Otro control a realizar es el del tornillo de bloqueo de la parte superior para asegurar que no esté atascado y que la rosca funciona adecuadamente.

2.3.2. Indicaciones de uso del pie de rey

A continuación, se describe detalladamente la forma correcta de manejo del pie de rey para los diferentes tipos de mediciones:

Mediciones exteriores: se abrirán previamente las mordazas de medida más de lo necesario para abarcar el elemento a medir y se cerrarán sobre él suavemente, asegurando el contacto entre el mensurando y las caras de medida de ambas mordazas. Una vez hecho esto se bloquea la posición con el botón de deslizamiento y freno para conservar la posición y poder realizar la lectura en la escala y el *nonius* con comodidad.

Si el elemento a medir lo permite, siempre se introducirá profundamente en las mordazas de medida para asegurar que el contacto del mensurando se produce en la superficie más ancha de las caras de medida. Únicamente si tuviéramos que medir una longitud alojada en un espacio angosto, utilizaríamos los extremos afilados de las mordazas del pie de rey para permitir el acceso, y solamente en ese supuesto.

Mediciones interiores: para medir interiores se abren un poco las mordazas y se introducen en el orificio o ranura a medir apoyando una de las caras rectas de la mordaza en la pared o generatriz interior y abriendo suavemente la otra mordaza hasta hacer contacto con la pared o generatriz opuesta. Una vez abarcado el interior a medir se bloquea el pie de rey con el botón para conservar la medida. Cuando se miden diámetros interiores se pueden marcar puntos en el contorno de la pieza para realizar mediciones sobre diferentes diámetros y comprobar así que el diámetro no presenta ovalizaciones. Y si se trata de una ranura conviene tomar mediciones a lo largo de la longitud de la misma para comprobar su buena ejecución.

Medición de profundidad o escalonamiento: para medir profundidades o escalonamientos, la varilla o sonda se desliza en una longitud mayor que la de la profundidad a medir para asegurar que apoya en el fondo, y luego se recoge apoyando la varilla en el fondo y al mismo tiempo apoyando la base del pie de rey en el borde de la pieza a medir. Una vez logrados los apoyos correctos tanto en el fondo como en el borde de la pieza, se procede a bloquear el pie de rey con el botón de freno. Cuando la pieza cuya altura interior se desea medir carece de fondo, se apoyará sobre una superficie que posea una planitud controlada, como por ejemplo una mesa de planitud y se procede del mismo modo.

2.3.3. Interpretación de la lectura

Las mediciones con el pie de rey se basan en leer la medida suministrada por la escala principal y buscar las décimas o centésimas de mm, a añadir, en el caso de que empleemos la escala métrica, en la coincidencia de trazos entre la escala principal y el *nonius*.

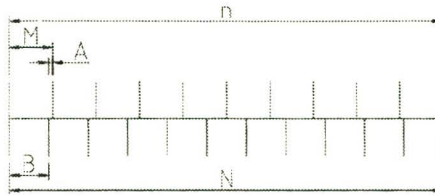


Figura 12. Posición de escala principal y *nonius*.

M = Valor de la división de la escala.

n = Número de divisiones de la escala abarcadas en el *nonius*.

N = Número de divisiones que contiene el *nonius*.

B = Valor de la división del *nonius*.

A = Sensibilidad o apreciación.

$$A = M - B$$

$$B = \frac{n \cdot M}{N} \quad A = M - \left(\frac{n \cdot M}{N}\right)$$

En los *nonius* normales $n = N - 1$

De lo que resulta que:

$$A = M - \left(\frac{n \cdot M}{N}\right) = \frac{NM}{N} - \frac{NM}{N} + \frac{M}{N}$$

$$A = M / N$$

La longitud que alcanza el *nonius* será:

$$M(2N-1) \text{ o } BN$$

Luego:

$$M(2N-1) = BN, \text{ de donde } B = \frac{M(2N-1)}{N}$$

La sensibilidad o apreciación de un calibre será:

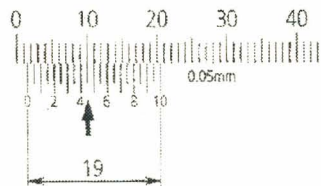
$$A = \frac{2MN - 2MN + M}{N} = \frac{M}{N}$$

2.3.4. Nonius o verniers

Los términos *nonius* y *vernier* son utilizados indistintamente en los textos de metrología como sinónimos para referirse a las escalas secundarias o auxiliares en los instrumentos de medición. La denominación de *nonius* procede de Pedro Nunes, en latín Petrus Nonius, astrónomo y matemático portugués, quien en 1514 inventó un dispositivo de medida que permitía medir fracciones de ángulo mediante el uso de una escala auxiliar que ideó y aplicó al astrolabio. En cuanto al término *vernier*, procede de Pierre Vernier, matemático francés que en 1631 inventó una escala auxiliar para medir longitudes con gran precisión. En este texto se utiliza el término *nonius* por ser el primero y más antiguo.

Existen dos tipos de *nonius*: *nonius* normales y *nonius* alargados o largos.

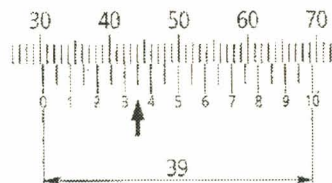
- **Nonius normales:** en este tipo de *nonius*, (N) divisiones de *nonius* abarcan la longitud de (N-1) divisiones de la escala principal.



Lectura 1,45 mm.

Figura 13. Posición de escala principal y *nonius*. (Mitutoyo).

- **Nonius alargados o largos:** en este tipo de *nonius*, (N) divisiones de *nonius* alcanzan (2N-1) divisiones de la escala principal, aunque la sensibilidad o apreciación sea la misma (0.05 mm) en ambos casos, Figuras 13 y 14, el *nonius* alargado permite una lectura más cómoda.



Lectura 30,35 mm.

Figura 14. *Nonius* alargado. (Mitutoyo).

2.3.4.1. Cálculo de la sensibilidad de un pie de rey

La sensibilidad de un pie de rey se puede calcular de dos formas diferentes:

- a) $S = |D_R - D_V|$, en donde D_R es el valor menor de la escala principal, en el caso de la escala métrica $D_R = 1 \text{ mm}$.

D_V es el valor menor de la escala secundaria o *nonius*, en el caso de la escala métrica, si el *nonius* estuviera dividido en 50 partes, $D_V = 49/50$, si el *nonius* estuviera dividido en 20 partes $D_V = 19/20$.

Esta expresión viene en valor absoluto porque podría darse el caso de que $D_V > D_R$, lo que ocurriría si el *nonius* fuera alargado, y no tendría sentido que la sensibilidad tomase un valor negativo.

- b) Otra expresión para el cálculo de la sensibilidad es la siguiente:

$$S = D_R / \text{Número de divisiones en el nonius.}$$

Para un *nonius* dividido en 10 partes, $s = 1/10 = 0.01 \text{ mm}$

Para un *nonius* dividido en 50 partes, $s = 1/50 = 0.02 \text{ mm}$

Para un *nonius* dividido en 20 partes, $s = 1/20 = 0.05 \text{ mm}$

Los instrumentos de medida cuyas escalas son paralelas entre sí tienen limitaciones en cuanto a las sensibilidades que son capaces de proporcionar, en parte debido a la propia disposición de sus escalas, si la sensibilidad (s) de un pie de rey es el cociente entre 1 y el número de divisiones del *nonius*. Imaginemos el hipotético caso en que deseáramos contar con un pie de rey con sensibilidad $s = 0.001 \text{ mm}$, ello conllevaría que el *nonius* debería estar dividido en 1000 partes, pero además existen otras razones que imposibilitarían alcanzar una sensibilidad de ($1 \mu\text{m}$). Lograr sensibilidades milésimales requiere sistemas de aproximación muy precisos que no se pueden alcanzar en un calibre y que requieren un tornillo micrométrico.

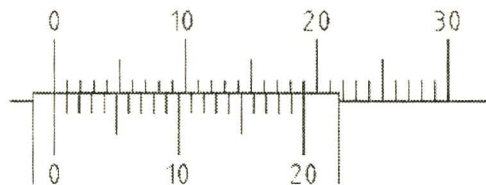


Figura 15. *Nonius* dividido en 20 partes.

2.3.4.2. Tipos de *nonius* más utilizados en el taller mecánico

Los tipos de *nonius* más utilizados en el taller mecánico son, para el Sistema Métrico, los siguientes:

Nonius de 9 mm de longitud dividido en 10 partes. Su sensibilidad es:

$$S = D/N = 1/10 = 0.1 \text{ mm (calibre de 1 décima)}$$

Nonius de 19 mm de longitud dividido en 20 partes. Su sensibilidad es:

$$S = D/N = 1/20 = 0.05 \text{ mm (calibre de 5 centésimas o media décima)}$$

Nonius de 49 mm de longitud dividido en 50 partes, su sensibilidad es:

$$S = D/N = 1/50 = 0.02 \text{ mm (calibre de 2 centésimas)}$$

Para el Sistema Inglés:

Nonius de 7/16" de longitud dividido en 8 partes. Su sensibilidad es:

$$S = D/N = (1/16)/8" = 1/128"$$

Nonius de 3/16" de longitud dividido en 4 partes. Su sensibilidad es:

$$S = D/N = (1/16)/4" = 1/64"$$

Cuando se vayan a realizar mediciones deben tenerse en cuenta los valores nominales de las mismas expresados en el plano para elegir el calibre o calibres adecuados. Por ejemplo, para medir un elemento cuya cota nominal es 25.04 mm se necesita un calibre de sensibilidad (0.02 mm) y para medir una cota de 25.15 mm habrá que disponer de un calibre de (0.05 mm), si la cota fuera 12,10 mm, entonces el calibre adecuado sería el de (0.1 mm)

2.3.4.3. Interpretación de lecturas en la escala en unidades inglesas

En el supuesto de medida indicado en la Figura 16 y que se corresponde con un *nonius* dividido en 8 partes para el cálculo de la sensibilidad se observa que si se hacen coincidir los ceros de ambas escalas, la separación existente entre las primeras divisiones de cada una de ellas será: $8/8 - 7/8 = 1/8$ de la división de escala de la escala principal, que es $1"/16$. Por tanto, la apreciación o sensibilidad es $1/8 \cdot 1"/16 = 1"/128$.

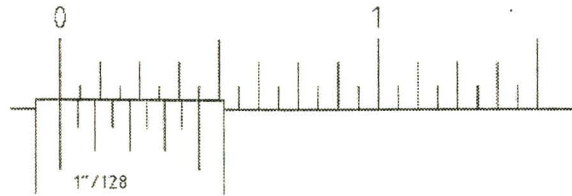


Figura 16. Nonius para medir en pulgadas.

2.3.5. Posibles causas de error al medir con el pie de rey

Al medir con un pie de rey es posible por la morfología del instrumento cometer una serie de errores que se describen a continuación:

- Error de Abbe.
- Error de paralaje.
- Errores al medir profundidades.
- Errores al medir interiores.

Error de Abbe

El principio de Abbe⁽¹⁾ expone que la exactitud máxima en una medición se obtiene cuando los ejes de la escala y de medición son comunes, ello se debe a que cualquier variación que experimente el ángulo relativo (σ) del extremo de la boca de medición de un instrumento como puede ser un pie de rey causa un desplazamiento que no aparece reflejado en la escala del instrumento y en esto consiste el error de Abbe. El error de rectitud o la variación de la fuerza de medición pueden causar que el ángulo (σ) varíe y que el error se vea incrementado conforme lo hace la longitud de la mordaza. Este error se puede denominar también error de basculación y podría ser considerable cuando el calibre constructivamente no cumple con el Principio de Abbe. En un calibre tipo *Nib* de largas mordazas este error puede llegar a ser importante, sobre todo cuando se miden interiores con los extremos de las mordazas, de ahí que ese tipo de calibres estén dotados de aproximación fina para evitar sobrepresión en la medida, que es una de las causas de este error, aunque no la única, ya que el desgaste de la guía del calibre también puede ser causa del error de Abbe, incluso siendo la presión de medida correcta. Las medidas exteriores realizadas con los extremos de las mordazas son más susceptibles de estar afectadas por el error de Abbe y las mordazas largas debido a su longitud amplifican el error. En la expresión que se aparece en la Figura 17 a continuación se muestra la expresión que permite calcular este error, y dado que el

ángulo provocado por el desplazamiento es muy pequeño, se toma directamente su valor y no el de su seno como en realidad correspondería en función de la relación trigonométrica que se establece.

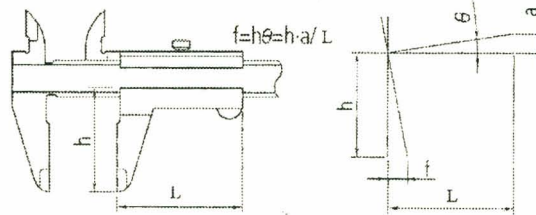


Figura 17. Una presión excesiva produce mediciones erróneas. (Mitutoyo).

(1). El conocido como principio de Abbe, sobre errores en instrumentos de medida, fue enunciado por Ernst Abbe, óptico y matemático alemán que vivió entre los siglos XIX y XX, en los siguientes términos: «El instrumento de medida debe estar construido siempre de manera tal que la distancia a medir sea continuación en línea recta de la escala graduada que constituye la referencia de medida. Si eje y escala no son coincidentes, sino que están separados por una cierta distancia, la longitud leída coincidirá con la longitud medida únicamente si el sistema móvil se desplaza paralelamente a la escala de lectura sin rotación alguna. Si el sistema experimenta algún tipo de rotación entre las posiciones inicial y final, en ese caso la longitud leída sobre la escala no coincidirá con la longitud medida».

Error de paralaje

Una de las posibles causas de error al medir con un instrumento cuyas escalas de medida, principal y secundaria, (*nonius*) son paralelas y en el que la lectura se basa en encontrar la coincidencia de trazos entre ambas para obtener el valor de la medida, ocurre cuando la persona que debe efectuar la lectura no se sitúa perpendicularmente a la escala, sino oblicuamente a la misma, con lo cual no visualiza correctamente la coincidencia de trazos entre escala principal y *nonius*, dando lugar a una lectura errónea (e). Para evitar este error, la regla en la que está grabado el *nonius* puede construirse formando un ángulo de unos 14° para facilitar la lectura. Algunos fabricantes de calibres incorporan escalas de *nonius* redondeadas para evitarlo.

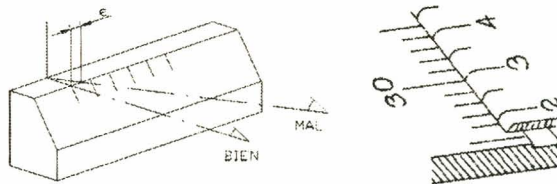


Figura 18. Posición correcta e incorrecta para efectuar lecturas con un instrumento. Escala redondeada para evitar errores de paralaje. (Mitutoyo).

Errores al medir profundidades

La medición de profundidades puede ser errónea por diferentes razones. Se analiza, en principio, el caso de piezas con fondo, en ese supuesto los errores pueden estar originados: a) por no alcanzar el fondo de la pieza a medir con la varilla; o b) por realizar un apoyo incorrecto (ladeado) de la base del pie de rey. Si al reiterar mediciones realizadas correctamente se encontrasen valores diferentes, esto serviría para poner de manifiesto defectos de planitud en el propio fondo de la pieza, dichos defectos de la base de la pieza pueden detectarse apoyando la varilla en diferentes lugares del fondo. Otra causa por la que pueden encontrarse valores diferentes puede proceder de las irregularidades o desniveles de la superficie de apoyo de la pieza, en ese supuesto la correcta nivelación de la superficie de apoyo se puede comprobar colocando la pieza invertida sobre una mesa de planitud y observando si apoya completamente en ella o solo en algunas zonas.

Cuando la pieza cuya profundidad deseamos medir carece de fondo, se colocará sobre una superficie de planitud controlada para evitar errores en la superficie de apoyo de la varilla.

En la medición de escalonamientos de planos o ranuras se procurará realizar la medición haciendo contacto con la parte ancha de la varilla en el escalón o pared para asegurar que la varilla se mantiene perpendicular a la base y no se ladea.

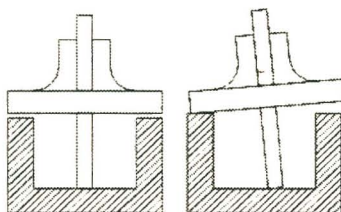


Figura 19. Posiciones incorrectas en la medición de profundidades por mal apoyo de la base del calibre y por ladeo de la varilla respectivamente.

Errores al medir interiores

Cuando se miden interiores con un calibre de tornero o tipo *Nib*, es decir, que se miden utilizando los extremos de las mordazas de medidas exteriores y además los diámetros son de pequeño tamaño, se puede cometer un error por la inadecuación de la forma de los extremos planos de las mordazas a la superficie curva que se desea medir. Este error se muestra a continuación en la Figura 20 y puede minimizarse cuando las mordazas del calibre cuentan con extremos

redondeados. Así pues, la forma plana o redondeada de los extremos de la mordaza debe ser tenida en cuenta al adquirir o utilizar un calibre cuando se vayan a medir diámetros interiores sobre todo si son de pequeño tamaño. Cuando se tengan que medir pequeños orificios con un calibre, es preciso tener en cuenta que existen calibres de tornero provistos de una escala adicional en la corredera para medir directamente interiores sin necesidad de tener que sumar al valor obtenido ($2e$) siendo (e) el espesor tal como se muestra en la Figura 10.

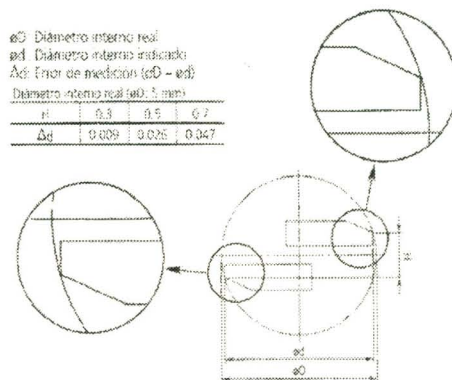


Figura 20. Errores al medir pequeños diámetros con las mordazas de medida de exteriores. (Mitutoyo).

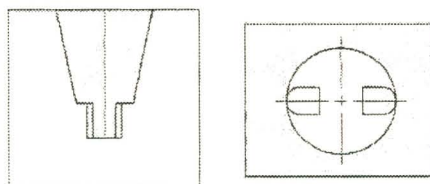


Figura 21. Extremos redondeados de la mordaza evitan errores al medir pequeños diámetros interiores. (Mitutoyo).

Posibilidades de medida con un calibre universal

La Figura 22, a continuación, ilustra las diferentes posibilidades de medida con un calibre o pie de rey universal.

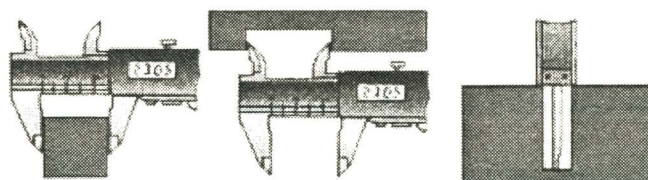


Figura 22. Diversas medidas con el pie de rey universal.

Seguridad y mantenimiento del pie de rey

A continuación, se exponen algunas indicaciones relacionadas tanto con la seguridad en la utilización del calibre como con el correcto manejo y mantenimiento de ese instrumento:

- **Utilización del calibre en máquinas-herramientas:** el calibre, cuando deba ser empleado en la comprobación de piezas que estén siendo mecanizadas en máquinas-herramientas, debe introducirse solamente tras haber detenido la máquina, de otro modo, utilizado con máquinas en marcha, puede salir despedido con gran riesgo de producir un accidente.
- **Cuidados del calibre:** el calibre no debe dejarse con el resto de la herramienta, no debe utilizarse como trazador salvo que sea un calibre específico de trazado y las caras de medida de las mordazas no deben rozarse con la pieza.

2.3.6. Tipos de pie de rey

Los fabricantes han ido incorporando diferentes modelos y variedades de calibres para solventar con comodidad las diversas necesidades de medida que pueden presentarse, y que afectan en gran medida al aspecto y forma de las mordazas, introduciendo variantes que facilitan la resolución de determinadas medidas: en interiores, en cajetas, en paredes de tubos, en ranuras angostas etc. A continuación, se citan algunos de ellos para ilustrar la enorme variedad disponible.

- **Pie de rey de tornero o tipo *Nib*:** sólo posee mordazas para medidas exteriores siendo aptos también para abordar medidas interiores y fabricándose calibres denominados de gran capacidad con reglas más largas que los calibres estándar y con mordazas también más largas.
- **Pie de rey universal:** posee mordazas de medida para medidas exteriores, mordazas para medidas interiores y varilla de profundidades pudiendo estar graduado en cm y mm, o bien en pulgadas y fracciones de pulgada o bien contar con ambas escalas simultáneamente, también existen calibres diseñados para zurdos.
- **Calibre de profundidades:** este tipo de calibre consiste en una regla graduada con una parte deslizante que en uno de sus extremos presenta una amplia base de apoyo y lleva grabado paralelamente a la regla su correspondiente *nonius*. Dispone de un tornillo de bloqueo similar al del calibre estándar y un sistema que puede ser de bloqueo o de aproximación

fina. Atendiendo al sistema de lectura, puede ser de lectura directa, digital o analógica dotándolo de un reloj comparador. A un calibre estándar se le puede incorporar un accesorio que proporciona una base de apoyo más amplia que aquella con la que cuenta y que permite medir interiores con mayor comodidad.

- **Calibre de trazado:** las puntas de sus mordazas permiten trazar con él.
- **Calibres para medir entre centros:** este tipo de calibres poseen mordazas terminadas en extremos triangulares que permiten calcular la distancia entre centros de orificios.
- **Calibre con pata móvil orientable:** en este tipo de calibre una de las mordazas, la móvil, está unida a la parte deslizante con una bisagra y resulta útil para medir entre planos de ejes desiguales que serían inabarcables con mordazas estándar.
- **Calibre con reloj comparador incorporado:** este calibre puede utilizarse como un calibre convencional, pero la ventaja que ofrece es que permite fijar un valor de referencia y, con respecto al mismo, realizar medidas por comparación.
- **Calibre de columna:** es un calibre que se utiliza para medir en altura o marcar sobre una pieza. Consiste en un calibrador con su correspondiente *nonius*, adosado a una base o soporte. Suele emplearse mucho para realizar trazados con precisión, sin más que montar en su extremo un punzón de trazado. También se utiliza en controles de altura de series de piezas, puede tener un sistema de lectura directo, digital o analógico estando dotado en ese supuesto de reloj comparador.
- **Calibre de doble corredera:** también denominado calibre de dentados, se utiliza para la medida del espesor de dientes en engranajes, también se conoce como calibre de módulos o pie de rey de dentados.
- **Calibre V de corredera:** es un calibre derivado del calibre de dentados, pero con un perfil que se adapta mejor a la forma del diente del engranaje a medir

Una de las posibles clasificaciones de los calibres o de otros instrumentos de medición es su sistema de lectura. Siguiendo este criterio tenemos:

- **Calibres convencionales, lectura por interpretación de escalas.**
- **Calibres analógicos.**
- **Calibres digitales.**

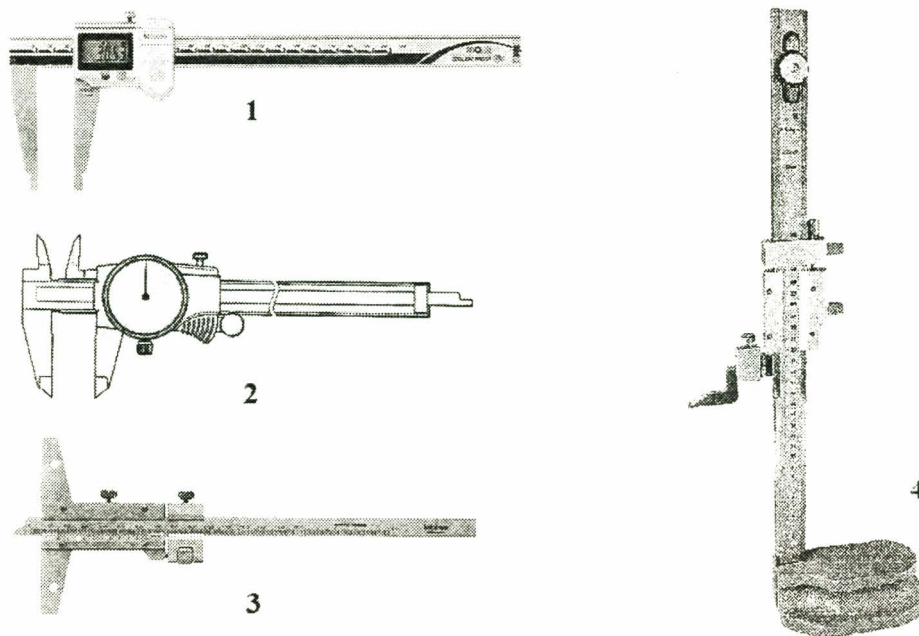


Figura 23. Diversos tipos de calibres: 1) calibre digital, 2) calibre con reloj comparador, 3) calibre de profundidades, 4) calibre de alturas. (Mitutoyo).

2.3.6.1. Calibre de doble corredera (09.01)

Este instrumento tiene una utilidad muy específica, ya que únicamente se utiliza para la medida del espesor de dientes de engranajes. Otras denominaciones del mismo son las de calibre de módulos o pie de rey de dentados.

Es una especie de doble calibre que consta de dos graduaciones ortogonales, una dispuesta en sentido horizontal y que forma parte de una especie de pie de rey que sirve para medir el valor de la cuerda del diente, y otra dispuesta verticalmente, que nos indica la flecha del diente por medio de un *nonius* solidario a una regla deslizante.

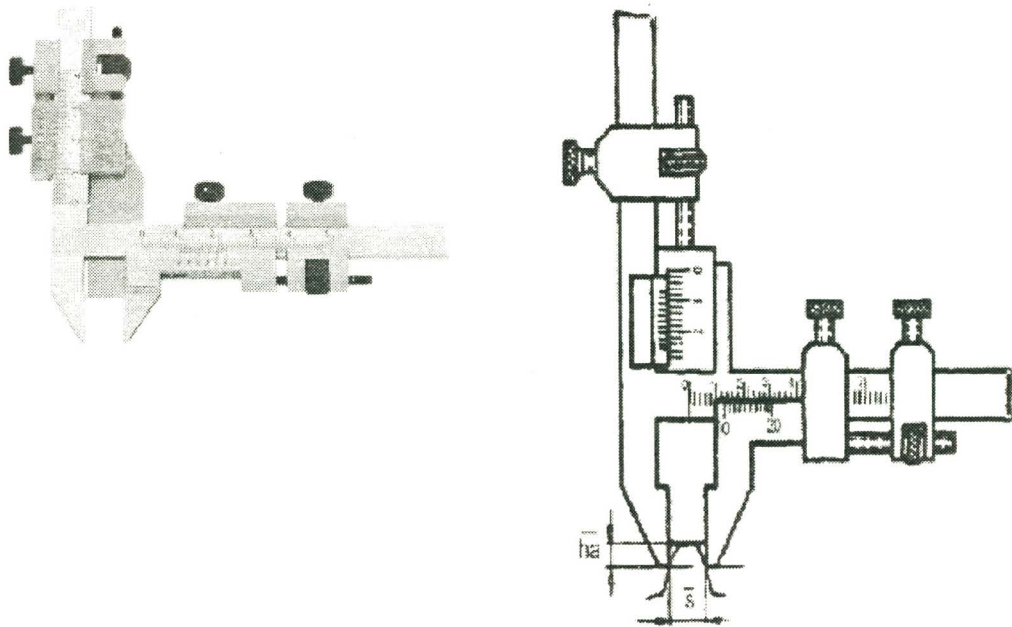


Figura 24. Calibre de doble corredera.

Verificación del espesor del diente en el calibre de doble corredera. Para el cálculo de los valores \bar{h}_a y \bar{s} se utilizan las expresiones siguientes:

$$h_a = m + \frac{mz}{2} \left(1 - \cos \frac{90}{z}\right)$$

$$s = m \cdot z \cdot \operatorname{sen} \frac{90}{z}$$

Forma práctica de realizar la medición con un calibre de doble corredera:

- Colocar en la corredera vertical el valor de \bar{h}_a y bloquearla.
- Apoyar la corredera vertical en la cabeza del diente a medir.
- Cerrar la corredera horizontal y medir \bar{s} .
- Si el valor del diámetro exterior no es correcto, deberá compensarse adecuadamente el valor de \bar{h}_a a colocar en el calibre.

2.3.6.2. Calibre V de corredera

Se trata de un instrumento que puede considerarse derivado del anterior, pero que posee la ventaja de aplicar un tipo de contacto sobre los dientes a medir

mucho más racional y adaptado a su forma, ya que tiene lugar sobre dos superficies inclinadas simétricamente respecto al eje del diente y que forman entre sí un ángulo igual a (2φ) , siendo (φ) el ángulo de la herramienta generadora.

La Figura 25 muestra que si llevamos sobre el reglaje vertical el valor del saliente (s) , con relación al origen elegido XY , la distancia AB , medida según XY y leída en la división horizontal, vale el espesor del diente (e) .

La diferencia entre el espesor efectivo deseado (e') y el espesor realizado en el tallado se leerá en verdadera magnitud en la graduación horizontal.

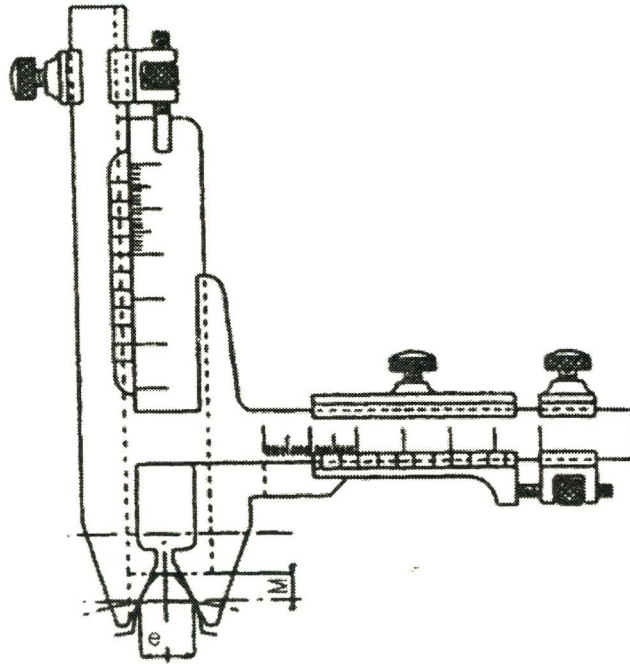


Figura 25. Calibre V de Corredera.

2.3.7. Calibración de pie de rey

La calibración de un pie de rey debe seguir una serie de procedimientos que vienen dados por las normas: NORMA UNE EN ISO 3650:2000 Especificación geométrica de productos (GPS). Patrones de longitud. Bloques patrón, (AENOR), Norma UNE 82316 para pies de rey con división de la escala de 0.1 mm y 0.05 mm y Norma UNE 82317 para pies de rey de escala 0.02 mm

Las tolerancias admisibles para las diferentes partes de un calibre se exponen a continuación:

Longitud de medida L (mm)	Error de indicación admisible, e (μm)	
	0.1 mm y 0.05 mm	0.02 mm y 0.01 mm
0	± 50	± 20
100	± 50	± 30
200	± 70	± 30
300	± 80	± 40
400	± 90	± 40
500	± 100	± 50
600	± 110	
700	± 120	
800	± 130	
900	± 140	
1000	± 150	

Tabla 5. Error de indicación admisible.

Longitud de medida L (mm)	Tolerancia máx. de paralelismo t_{par} (μm)
0	10
100	10
200	10
300	15
400	15
500	20

Tabla 6. Tolerancia máxima de paralelismo.

Longitud de medida L (mm)	Mínima longitud de las bocas de medida de exteriores (mm)	Tolerancia máx. de paralelismo t_{par} (μm)
0 a 135	35	10
0 a 160	40	10
0 a 200	50	10
0 a 250	50	10
0 a 300	60	15
0 a 500	80	20
0 a 750	80	20
0 a 1000	100	20

Tabla 7. Longitud mínima y tolerancia máxima de paralelismo.

2.3.8. Mediciones indirectas con calibres

Con un calibre se pueden realizar mediciones indirectas a partir de las cuales obtenemos las deseadas. A continuación, se exponen dos ejemplos frecuentes en talleres:

1. Cálculo de la distancia entre centros de agujeros con calibre universal.
2. Cálculo de diámetro de grandes piezas.

Determinación de distancias entre centros de agujeros.

Un problema práctico de taller es el cálculo de la distancia entre centros de agujeros de diámetros A y B respectivamente, con la única ayuda del calibre universal, aunque existen calibres específicos para la medida de centros puede no disponerse de ellos. Dado que el valor de la distancia (L) no puede ser medido directamente con el calibre estándar, como es obvio al no estar materializado, cabe no obstante calcularlo indirectamente a través de las distancias C y D con las mordazas para medidas interiores. Conocidas estas, es posible plantear el siguiente sistema de ecuaciones:

$$L = C + (A/2) + (B/2)$$

$$L = D - (A/2) - (B/2)$$

Luego:

$$L = (C + D)/2$$

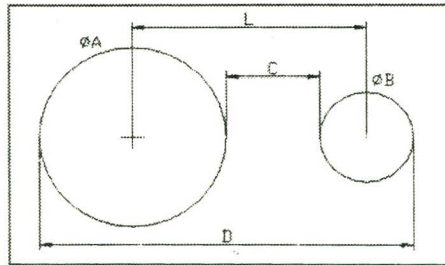


Figura 26. Cálculo indirecto de la distancia entre centros de agujeros con un calibre estándar.

Determinación del diámetro de grandes piezas

Existen calibres de gran capacidad para la determinación de grandes diámetros, pero con un calibre estándar y este método de medida, denominado de cuerda y flecha, podemos obtener su valor indirectamente cuando no se cuenta con un calibre que tenga una escala capaz de abarcar el diámetro de la pieza cuyo valor deseamos determinar. El cálculo está basado en la siguiente regla geométrica del triángulo rectángulo:

$$\left(\frac{l}{2}\right)^2 = f(D - f)$$

$$l^2 = 4fD - 4f^2$$

$$D = f + \frac{l^2}{4f}$$

Donde (l) es la cuerda, (f) la flecha y (D) el diámetro de la circunferencia. Véase Figura 27 a continuación:

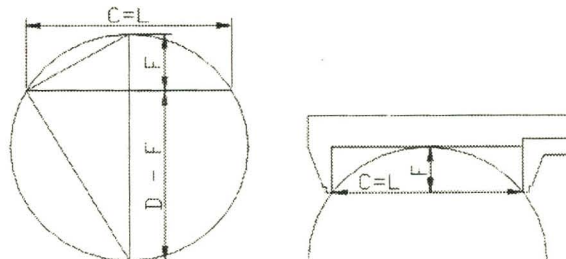


Figura 27. Medición de un diámetro superior a la capacidad del calibre.

2.4. Micrómetro de exteriores (02.10)

El micrómetro de exteriores, también denominado Palmer en los talleres, es un instrumento de trazos de medida directa basado en un tornillo micrométrico que, girando según su paso, produce el avance del husillo, permitiendo transformar pequeños desplazamientos no medibles en rotaciones que pueden ser leídas en escalas. El micrómetro de exteriores consta de las siguientes partes, según se muestra, a continuación, en la Figura 28.

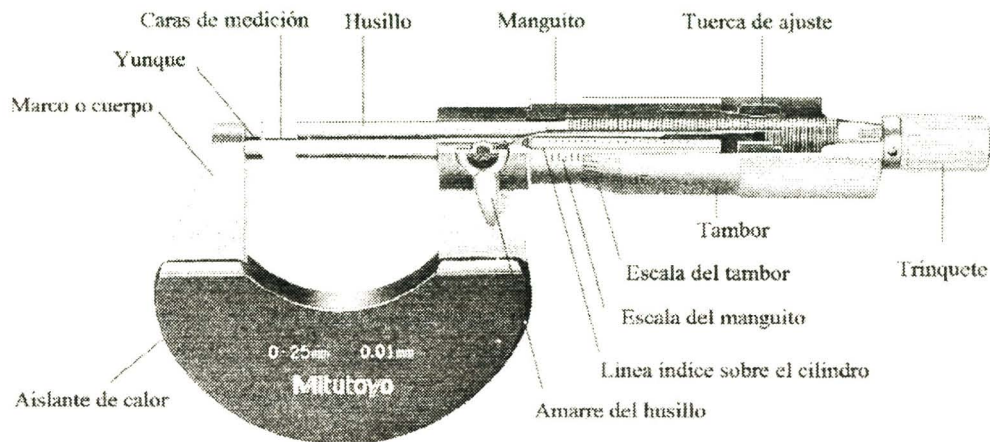


Figura 28. Esquema de un micrómetro de exteriores. (Mitutoyo).

- **Cuerpo o marco:** tiene forma de herradura y en algunos modelos va cubierto por placas de material plástico, que sirven para aislar el instrumento del calor de la mano. Suele llevar grabadas dos características metrológicas del instrumento: intervalo de valores de su escala y sensibilidad.
- **Yunque y husillo:** ambos tienen sección circular y en sus extremos se encuentran las caras de medida que están provistos de unas tapas de acero al carburo de tungsteno para evitar desgastes. Por ello es preciso evitar los golpes, ya que se fractura con gran facilidad, por tratarse de un material muy frágil.
- **Palanca de bloqueo o amarre del husillo:** puede adoptar la forma de un pequeño tornillo, palanca o aro, y sirve para fijar la medida una vez realizada.

- **Eje calado o manguito:** sobre el mismo va grabada la escala principal del instrumento, formada por una línea denominada línea de índice. Sobre ella se sitúa la escala en milímetros, y bajo ella la escala grabada con trazos distantes a 0.5 mm si se trata de un micrómetro en sistema métrico.
- **Tambor graduado:** el tambor lleva grabado el *nonius* del instrumento, generalmente suele estar dividido en 50 o en 100 partes, dependiendo de la sensibilidad. En los instrumentos de sensibilidad milesimal el tambor graduado está dotado de un *nonius* adicional, la parte posterior del tambor tiene un acabado moleteado.
- **Trinquete o limitador de presión:** es un mecanismo situado en el extremo del instrumento y que sirve para limitar la presión que es posible realizar con el instrumento al aproximar los palpadores, evitando así dañar o forzar el instrumento, y que a partir de una determinada presión gira en vacío.

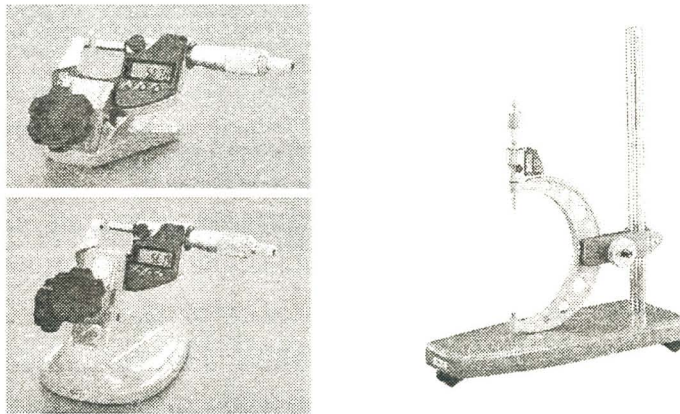


Figura 29. Micrómetro de exteriores sobre soporte. (Mitutoyo).

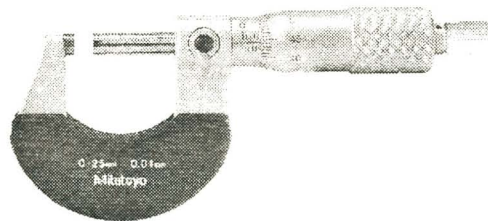


Figura 30. Micrómetro de exteriores centesimal. (Mitutoyo).

2.4.1. Cálculo de la sensibilidad

La sensibilidad en el caso de los micrómetros puede expresarse como el cociente entre el paso del tornillo micrométrico que produce el avance del palpador móvil y el número de divisiones del *nonius* del mismo:

$$s = \frac{\text{paso}}{n^{\circ} \text{ divisiones nonius}}$$

El paso del tornillo micrométrico coincide con el valor de la menor división de la regla principal por lo que la expresión podría quedar como sigue:

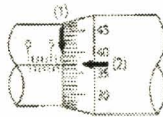
$$s = \frac{\text{menor división regla principal}}{n^{\circ} \text{ divisiones del tambor}}$$

2.4.2. Interpretación de lectura y medición

La interpretación de la medida con un micrómetro se realiza en un cierto orden y han de ir sumándose los valores obtenidos siguiendo unos sencillos pasos para llegar al valor final.

- Se cuentan las unidades (mm) desde el valor cero hasta el extremo del tambor.
- En el caso de que entre el último milímetro y el extremo del tambor aparezca una división por debajo de la línea de índice, se añadirá a la lectura anterior (0.5 mm).
- Al valor que se ha obtenido en la escala principal se sumarán las centésimas de milímetro del tambor graduado tomando como valor el trazo más próximo a la línea de índice.
- Línea de índice.

Micrómetro con escala estándar (graduación: 0.01 mm)



- Lectura escala del husillo = 7 mm
 - Lectura escala del tambor = 0.37 mm
- Lectura del micrómetro = 7.37 mm

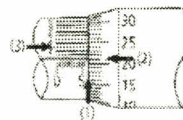
Nota! 0.37 mm (2) se lee en la posición donde la línea índice sobre el cilindro está alineada con las graduaciones del tambor.

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



Micrómetro con escala vernier (graduación: 0.001 mm)

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



- Lectura escala del husillo = 6.000 mm
 - Lectura escala del tambor = 0.210 mm
 - Lectura desde el marcado de la escala vernier y línea de graduación del tambor = 0.003 mm
- Lectura del micrómetro = 6.213 mm

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

Figura 31. Proceso de lectura de la medida en un micrómetro centesimal y milesimal. (Mitutoyo).

2.4.3. Comprobaciones en los micrómetros

Antes de medir con el micrómetro, como con cualquier otro instrumento, es necesario realizar una comprobación de exactitud o control de error que nos permita asegurar el correcto funcionamiento del instrumento.

Es preciso considerar que el micrómetro puede o no poseer en su campo de medida el valor cero dependiendo del rango de valores de su escala. Hay que tener en cuenta que los campos de medida de los micrómetros son sucesivamente (0-25 mm) y de (25-50 mm), y avanzan en esas cuantías. Por tanto, solo para el micrómetro cuyo rango esté comprendido entre (0 y 25 mm), será posible la comprobación de exactitud sobre el valor cero, por lo que es el único tipo de micrómetro de exteriores que no precisa patrón para el control de error. Para los restantes intervalos, se deberá recurrir a un patrón de longitud auxiliar, un patrón que suele tener por valor el menor de los indicados en la escala del instrumento, ejemplo 25 mm para el micrómetro de (25 a 50 mm), aunque podría servir cualquier otro siempre que materialice un valor incluido dentro de su campo de medida. Los micrómetros de exteriores vienen provistos de una barra patrón que permite realizar la comprobación de exactitud.



Figura 32. Barras patrón para la comprobación de exactitud de micrómetros de exteriores. (Mitutoyo).

Si al realizar la comprobación de exactitud se observa la existencia de un desajuste o desviación con respecto al valor que se está comprobando, sea cero u otro cualquiera, este deberá ser corregido, ya que el micrómetro permite realizar ajustes. Dependiendo de la cuantía y signo del desajuste encontrado la forma de corrección del mismo varía.

Si la desviación es $D < (\pm S)$, es decir, no sobrepasa la magnitud comprendida entre dos trazos sucesivos del *nonius*. Se considera que el desajuste es pequeño y el ajuste se realiza sobre el manguito del instrumento, con ayuda de la llave que se incluye junto con él, actuando sobre el manguito hasta lograr el ajuste de la escala y girando en el sentido adecuado para compensar el desajuste dependiendo de su signo positivo o negativo.

Si la desviación $D > (\pm S)$, es decir, sobrepasa la magnitud comprendida entre dos trazos sucesivos del *nonius*. Se considera que el desajuste es grande y la corrección se realiza en la parte posterior del instrumento, actuando sobre el trinquete, es decir, sobre el tornillo micrométrico y utilizando la parte de la llave correspondiente y como en el caso anterior procediendo a ajustar en el sentido adecuado para corregir la desviación dependiendo de que el signo del desajuste sea positivo o negativo.

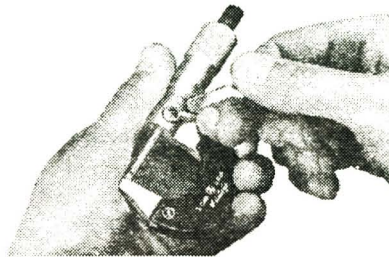


Figura 33. Ajuste del micrómetro para desviaciones menores que $(\pm S)$.

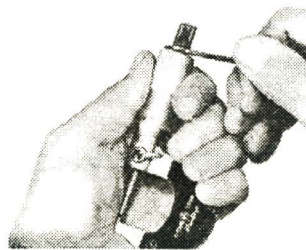


Figura 34. Ajuste del micrómetro para desviaciones mayores que $(\pm S)$.

Otras comprobaciones a realizar para asegurarse del buen estado del micrómetro son las siguientes:

- Comprobación del estado de las caras de medida en cuanto a planitud y paralelismo de yunque y husillo.
- Comprobación del avance del tornillo micrométrico.
- Comprobación de bloqueo del husillo.
- Comprobación del correcto funcionamiento del trinquete o limitador de presión.

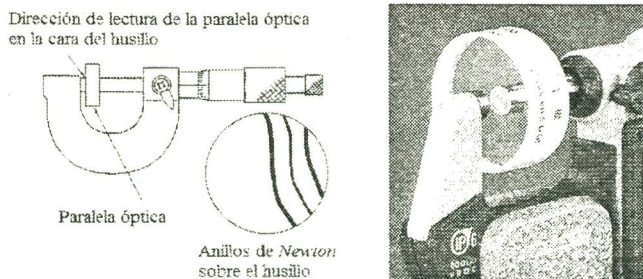


Figura 35. Control del estado de las caras de medida de un micrómetro con la paralela óptica. (Mitutoyo).

La utilización de micrómetros conlleva unas normas para un uso correcto que permiten aprovechar la precisión del instrumento y asegurar su correcto mantenimiento:

- Se evitará transmitir al instrumento el calor de la mano sujetándolo por las placas aislantes.
- Siempre que sea posible y se trate de mediciones reiteradas, se colocará el micrómetro sobre un soporte de sujeción realizando así las mediciones con mayor comodidad y sin transmitirle calor al instrumento.
- Se limpiará perfectamente el instrumento antes y después de medir atendiendo sobre todo a las caras de medida con papel especial y disolventes adecuados si fuera necesario.
- Se evitará golpear o rozar la pieza contra las caras de medida, que son especialmente frágiles y se evitará también que el elemento a medir cuelgue del instrumento, sujetándolo o apoyándolo.
- Al medir, se alcanzará el contacto entre la pieza y los palpadores procediendo con suavidad y luego se harán dos o tres giros en vacío con el trinquete.
- Una vez realizada la medida se fijará la posición utilizando para ello el mecanismo de bloqueo del instrumento.

2.4.3.1. Posibles causas de error al medir con un micrómetro

Al medir con micrómetros se pueden cometer errores que a continuación se exponen:

- Error de Abbe.
- Errores por el método de soporte y orientación.
- Errores debidos a la ley de Hooke.

Error de Abbe: sobre el error de Abbe ya se ha tratado en los calibres y también se ha expuesto el principio de Abbe. En lo referente al micrómetro únicamente comentar que el error en la rectitud del husillo, la posible holgura del mismo o la variación de fuerza que se aplica al medir pueden causar este error que aumenta proporcionalmente como se ha expuesto anteriormente con la distancia entre el eje del instrumento y el punto de contacto del mismo con el elemento a medir.

Errores por el método de soporte de cambio y orientación: cuando se modifica la orientación y el método de soporte de un micrómetro tras haber llevado a cabo el control de error afecta a los resultados de las mediciones. Por lo que se debe fijar y medir utilizando la misma forma de soporte.

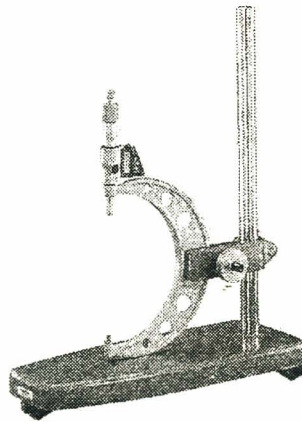
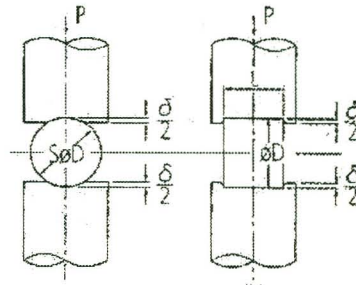


Figura 36. Cambio de orientación en un micrómetro de exteriores. (Mitutoyo).

Errores por deformación del mensurando: la ley de Hooke establece que «la deformación experimentada por un material elástico es proporcional al esfuerzo que la causa siempre que se cumpla que la misma está dentro del límite elástico de dicho material». Por otra parte, las fórmulas de Hertz proporcionan la reducción aparente que experimentan los diámetros de esferas o cilindros originada por la fuerza de compresión elástica cuando se realizan mediciones entre superficies planas. Dichas fórmulas permiten determinar la deformación

que experimentan este tipo de piezas, cuando se miden siendo el contacto de punto o de línea.

Para un acero cuyo módulo de elasticidad fuera $E = 205 \text{ GPa}$, la cantidad de deformación (δ) en (μm), el diámetro de la esfera o cilindro (D) en (mm), la longitud del cilindro (L) en (mm) y la fuerza de medición P (N).



Esfera y cilindro entre las caras de medida

Figura 37. Deformaciones aparentes de esfera y cilindro situadas entre las caras de medida de un micrómetro de exteriores. (Mitutoyo)

La reducción aparente del diámetro de la esfera viene dada por la expresión:

$$\delta_1 = 0.82 \sqrt[3]{P^2 / D}$$

La reducción aparente del diámetro del cilindro viene dada por la expresión:

$$\delta_2 = 0.094 \cdot P \cdot L \sqrt[3]{1 / D}$$

2.4.4. Tipos de micrómetros

Existen diferentes tipos de micrómetros destinados a satisfacer las distintas necesidades metrológicas. Los micrómetros pueden clasificarse en función de diversos criterios:

Por su sensibilidad:

- **Micrómetros centesimales** son aquellos que pueden apreciar centésimas de milímetro.
- **Micrómetros milésimales** son aquellos micrómetros dotados de un *nonius* adicional a las dos escalas y que pueden apreciar milésimas de milímetro.

Por el sistema de unidades de sus escalas:

- Micrómetros métricos.
- Micrómetros en unidades sistema británico.

Por su capacidad de medida:

Atendiendo a los intervalos de valores que abarca su campo de medida, se escalonan de 25 en 25 milímetros o bien de pulgada en pulgada, tal como se muestra a continuación en la Tabla 8:

Escalonamientos de los micrómetros	
mm	pulgadas
0 a 25	0 a 1"
25 a 50	1" a 2"
50 a 75	2" a 3"
75 a 100	3" a 4"

Tabla 8. Escalonamientos en el intervalo de medida de los micrómetros.

Sobre micrómetros de exteriores véase UNE 82-306-80 y UNE 82-318-94.

Por el sistema de lectura:

- Micrómetros convencionales, lectura por interpretación de escalas.
- Micrómetros analógicos.
- Micrómetros digitales.

En función de su utilidad metrológica. Los micrómetros se pueden clasificar en unas tipologías generales que a su vez presentan numerosas variantes:

- Micrómetros de exteriores.
- Micrómetros de profundidades.
- Micrómetros de interiores.

2.4.4.1. Micrómetros de exteriores, variedades

Dentro de los micrómetros de exteriores existe una enorme variedad dadas las combinaciones posibles. Se citan los más significativos:

- Micrómetros de gran capacidad. Con husillos intercambiables.
- Micrómetros para la medida de alambres.
- Micrómetros con reloj comparador incorporado o de tolerancias.
- Micrómetro con palpadores perpendiculares o Multi-T-Anvil.
- Micrómetros de arco profundo para paredes de tubos.
- Micrómetros de platillos para la medida de módulos de engranajes.
- Micrómetros de roscas con yunque y husillo hueco.
- Micrómetro de platillos.
- Micrómetros con palpadores o mordazas de diversas formas.
- Micrómetros digitales.
- Útilmetros o micrómetros de husillo en V.
- Pies micrométricos.
- Micrómetros dobles.
- Micrómetros verticales.

Micrómetro de gran capacidad: se utiliza para el control de cilindros de laminación o medidas de piezas de grandes dimensiones que requieren precisión micrométrica. Dado que es necesario asegurar la rigidez del cuerpo y que también conviene que sea lo más ligero posible, la solución es convertirlo en una estructura en celosía. Suelen estar provistos de palpador central regulable para facilitar el centrado correcto de la pieza a medir cuando se trata de grandes diámetros. En este tipo de micrómetro el husillo es intercambiable, pudiendo adaptarse husillos de diferentes longitudes lo que dota al instrumento de mayor versatilidad en cuanto al campo de medida. Cada vez que se modifica el husillo es necesario realizar una comprobación de exactitud o control de error con la barra patrón correspondiente.

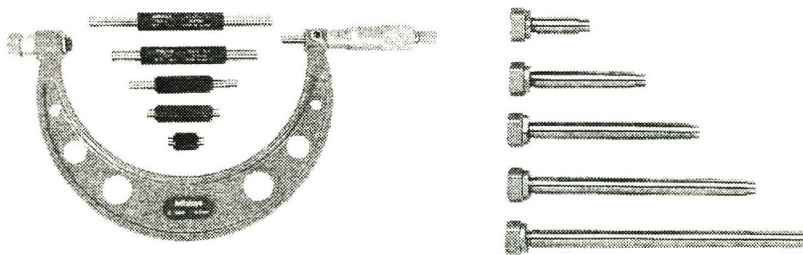


Figura 38. Micrómetro de exteriores de gran capacidad con husillos intercambiables. (Mitutoyo).

Micrómetro de arco reducido: también denominado micrómetro de alambre o hilos, es un instrumento con un campo de medida muy limitado pero suficiente para realizar mediciones sobre hilos o alambres con comodidad y en el cual el cuerpo no tiene forma de arco sino tubular para medir con comodidad. Este micrómetro resulta útil para medir diámetros de pequeños rodamientos.

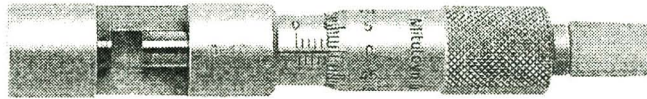


Figura 39. Micrómetro de exteriores de arco reducido. (Mitutoyo).

Micrómetro de exteriores con reloj comparador: también denominado micrómetro de tolerancias. Supongamos que se desea comprobar una cota sometida a una determinada tolerancia, con precisión micrométrica. Para ello se procederá del siguiente modo: se coloca entre las caras de medida del micrómetro el bloque patrón o en su caso el agrupamiento de bloques patrón que materialicen el valor de dicha cota, regulándolo para que la aguja en el reloj comparador marque el valor cero. Una vez conseguido se bloquea el instrumento utilizando el amarre del husillo. Con la ayuda del pulsador que lleva incorporado el instrumento, desplazaremos el yunque, que en esta variante de micrómetro es desplazable y tiene un pequeño recorrido que resulta suficiente para liberar la pieza interpuesta entre los palpadores de medida sin desbloquear el instrumento. Habiendo establecido mediante las manecillas del reloj comparador el campo de tolerancia admisible para el elemento o elementos a controlar, y utilizando únicamente el pulsador para introducir o extraer las cotas a controlar, se ha transformado un instrumento de medida directa en un instrumento de medida por comparación. Bastará con interponer la pieza a controlar entre las caras de medida y comprobar si la aguja del comparador permanece dentro del campo de tolerancia establecido o no, sin necesidad siquiera de medir, es decir, de proporcionar un valor numérico, lo que en realidad convierte al instrumento en un verificador de la condición de cumplimiento o no cumplimiento del requisito de tolerancia establecido. De este modo, se permite que una vez preparado el instrumento se puedan verificar con rapidez y comodidad un cierto número de piezas.

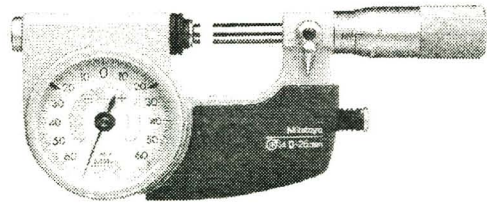


Figura 40. Micrómetro de tolerancias. (Mitutoyo).

Micrómetro para paredes de tubos: es un micrómetro diseñado para una utilización específica como es la medición de espesores en tuberías y también las distancias entre ranuras y bordes. Para ello se ha modificado la disposición del yunque que en este caso es perpendicular al husillo. Algunas marcas comerciales lo denominan multi T-Anvil. Se muestra, a continuación, en la Figura 41.



Figura 41. Micrómetro para paredes de tubos. (Mitutoyo)

Micrómetros con arco elongado: también se denominan micrómetros de arco con escotadura, son una variante diseñada para poder acceder a medidas que con micrómetros de arco estándar no sería posible realizar. Se emplean generalmente en las mediciones de espesores de chapas, ya que en los productos laminados resulta conveniente controlar el espesor a diferentes distancias y no únicamente en los bordes o extremos.

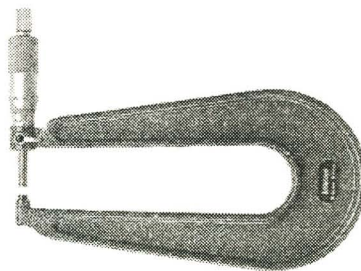


Figura 42. Micrómetro de arco con escotadura o elongado. (Mitutoyo).

2.4.4.1.1. Micrómetro de platillos

Se utilizan para la medición de la cota cordal, también denominada raíz tangente de la longitud del engranaje, o longitud de la tangente del pie. La medida del espesor del diente en los engranajes rectos puede realizarse tanto directa como indirectamente. Directamente utilizando un calibre de doble corredera o una V de corredera e indirectamente, con un micrómetro de platillos. Este micrómetro permite verificar el espesor entre (K) dientes y, a partir del valor medido (W), la cota cordal, es posible obtener todos los datos relativos a dicho engranaje. Para conocer sobre cuántos dientes debe tomarse la medida, se puede consultar la Tabla 9, que proporciona, en función del número de dientes totales del engranaje (Z), el número de dientes (n) que se deben tomar para determinar (W), según se muestra en la Figura 42.

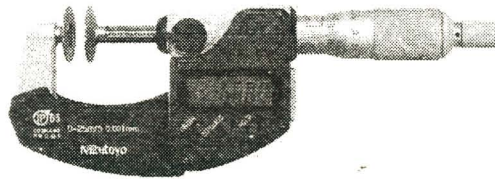
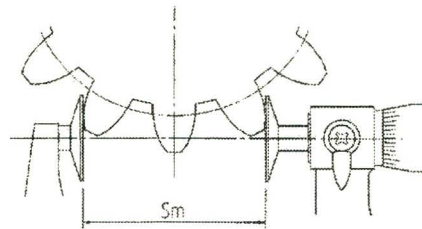


Figura 43. Micrómetro de platillos midiendo la raíz tangente de la longitud del engranaje. (Mitutoyo).

La distancia abarcada entre los tres dientes en este caso que se puede medir directamente con el micrómetro es (W).

A su vez, la expresión para el cálculo de la distancia entre (K) dientes es:

$$W = m \times \text{Cos}(\alpha) [\pi (K - 0.5) + Z \times \text{inv}(\alpha)]$$

$$K = \frac{\alpha}{180} Z + 0.5$$

$$\text{Cos}(\alpha) = \frac{P_{base}}{M Z};$$

$$\text{Inv}(\alpha) = \text{tg}(\alpha) - \alpha$$

Siendo (α) expresado en radianes.

La utilización del micrómetro de engranajes para la verificación del espesor entre (K) dientes es un sistema cómodo y seguro, por lo que es muy utilizado en el taller.

2.4.4.1.2. Micrómetro de roscas

Es un micrómetro de exteriores específicamente ideado para la medición de algunos de los parámetros que definen las roscas y que presenta la peculiaridad de que tanto el yunque como el husillo son huecos y en ellos pueden introducirse una pareja de puntas de contacto, que dependiendo de su tipo, puede servir para el control del diámetro medio, diámetro exterior o del diámetro interior respectivamente, de los diversos tipos de roscas, tanto si se trata de roscas métricas como si son de otro tipo.

Los diferentes juegos de puntas de contacto disponibles poseen ángulos y morfologías distintas en función de los parámetros que han de controlar y de los tipos de roscas existentes. Las puntas de contacto son siempre un par, una de ellas tiene indefectiblemente forma cónica o troncocónica y la otra presenta un contacto en forma de ángulo diédrico.

La punta de contacto que tiene forma cónica o troncocónica debe colocarse siempre en el husillo para que en cualquier posición que este adopte al avanzar según el paso del tornillo micrométrico, permita la medida, ya que de colocar sobre el husillo el contacto en forma de ángulo diedro este iría girando y adoptando posiciones cualesquiera que no permitirían que se adaptase a la rosca a medir. Este tipo de micrómetros presenta además otra particularidad, ya que cuentan con un doble mecanismo de amarre, tanto para el husillo como para el yunque, ya que cada vez que se introduce un par de puntas de contacto, es preciso realizar una comprobación de exactitud seleccionando el correspondiente patrón entre los que se incluyen con el instrumento para los diferentes tipos de rosca.



Figura 44. Micrómetro de roscas, doble mecanismo de bloqueo y contactos intercambiables. (Mitutoyo).

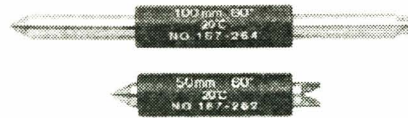


Figura 45. Barras patrón para comprobación de exactitud en micrómetros para roscas. (Mitutoyo).

Utilización del micrómetro de roscas

La utilización de este micrómetro requiere tener en cuenta lo siguiente:

- Una vez conocidos los datos de la rosca a medir se elegirán los palpadores correspondientes: de 60°, en el caso de roscas métricas o de 55° en el caso de roscas Whitworth.
- Se selecciona el juego de palpadores adecuado al paso de la rosca.
- Se monta la punta de contacto cónica o troncocónica en el husillo y la que tiene forma de ángulo diedro en el yunque. Las puntas de contacto se introducen en el yunque y husillo huecos con facilidad a presión.
- Se contrasta el micrómetro auxiliándose del patrón adecuado al ángulo de las puntas de contacto montadas. Una vez regulado el micrómetro se bloquea la punta de contacto con el mecanismo de bloqueo correspondiente al husillo.
- Se introduce la rosca en el micrómetro apoyándose la misma en el yunque (contacto en ángulo diedro). Se realiza la comprobación de exactitud o control de error y, si se han de hacer ajustes, se utiliza la capacidad de desplazamiento del yunque para ello. Una vez conseguido el ajuste, se bloquea el yunque con el mecanismo de amarre del que está provisto.
- Se efectúan diversas medidas hasta obtener el valor máximo.

Estos micrómetros pueden incorporar también mordazas de tipo de hoja o lengüeta para medir en lugares estrechos, siendo también bastante comunes los que tienen contactos en forma de puntas, o en forma de discos y que permiten medir secciones espaciadas que están muy próximas en una pieza de la máquina.



Figura 46. Medición de una rosca con la pareja de contactos.

Micrometro en V, útilmetro: es una variante de micrómetro de exteriores que sirve para resolver los problemas de medida que plantea la medición de ciertas herramientas, sean, por ejemplo, engranajes, machos de roscar, fresas, etc., que poseen un número de dientes, labios o estrías impar, y que por tanto no permiten que su diámetro sea abarcado utilizando micrómetros estándar, ya que al hacerlo aparecen enfrentados, dientes, labios o estrías respectivamente, frente a huecos. Para solventar este inconveniente, se ha creado este tipo de micrómetros, los útilmetros, que poseen un yunque en forma de V, con lo que es posible sujetar la pieza a medir. Pero ocurre que dependiendo de si el número de dientes, labios o estrías es 3 o múltiplo de 3, 5 o múltiplo de 5, o bien 7 o múltiplo de 7, el ángulo de apertura de la (V) es diferente en cada caso, lo que obliga a contar con útilmetros con ángulos de apertura distintos.



Figura 47. Micrómetro en V. (Mitutoyo).

La medida realizada con un útilmetro permite obtener el valor del diámetro basándose en la relación geométrica que existe entre un triángulo equilátero inscrito en una circunferencia cuando se trate de herramientas cuyo número de dientes sea 3 o múltiplo de 3, o bien en función de la relación geométrica existente en un pentágono regular inscrito en una circunferencia, cuando la herramienta a medir tenga un número de dientes igual a 5 o múltiplo de 5 y o bien en función de la relación geométrica existente entre un heptágono regular inscrito en una circunferencia cuando la herramienta a medir tenga 7 dientes o múltiplo de 7.

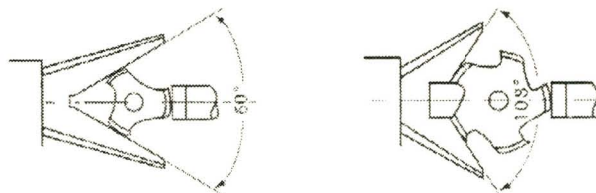


Figura 48. Diferencias en el ángulo de apertura de la V para 3 y 5 estrías. (Mitutoyo).

El yunque en (V) de este micrómetro ha de tener sus lados tangentes a la circunferencia exterior de la pieza que es apoyo, es por ello que el ángulo que forman estos lados varía en función del número de labios, dientes o estrías de la pieza a medir 3, 5 o 7.

En el micrómetro en V hay dos recorridos, uno axial y el otro radial. En el husillo ambos coinciden, mientras que en las caras de medida del yunque no son coincidentes.

En este micrómetro, la distancia entre dos divisiones consecutivas del tambor, situadas en el mismo lado, es dos veces el paso de la rosca del husillo.

El micrómetro en V resulta de gran utilidad en el proceso de afilado de las herramientas.

En el caso de tener que medir el diámetro de un macho de roscar con un número de estrías impar, la medición se puede realizar mediante este instrumento y con la utilización de un hilo o alambre.

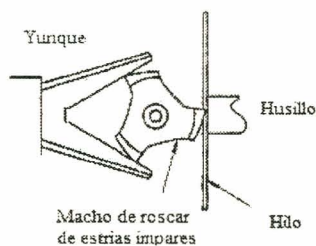


Figura 49. Medición de macho de roscar estrías impares, método del hilo o alambre. (Mitutoyo).

2.4.4.1.3. Accesorios para micrómetros de exteriores

Los micrómetros de exteriores estándar, al acoplarles ciertos accesorios, pueden ver ampliadas sus capacidades de medida sirviendo para la realización de mediciones muy específicas, como son los controles del diámetro de paso de roscas con la ayuda de juegos intercambiables de varillas calibradas o incluso con varillas calibradas sueltas.

Juego de varillas: el control del diámetro del paso de un tornillo, puede llevarse a cabo con un micrómetro de exteriores estándar al que se le ajustan un par de plaquitas en las que van sujetas varillas calibradas, cada juego consta de un par de placas, una de ellas lleva montadas dos varillas y la que la complementa

solamente una. Este método de medida se denomina de tres hilos y permite la medida del paso del diámetro de una rosca. Estos accesorios se suministran en estuches de juegos de placas que cubren las gamas de medida más comunes, según se muestra en la Figura 49. El motivo de fijar las varillas sobre placas es facilitar su manejo y evitar su pérdida especialmente de las de pequeño calibre que son hilos. Cuando las varillas calibradas son de mayor calibre suelen suministrarse sueltas, ya que su manejo resulta más sencillo. La medición de roscas con este método resulta idónea para el control de roscas de precisión.

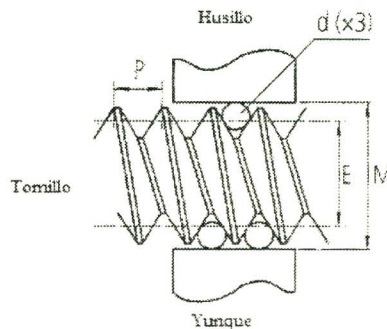


Figura 50. Medición de una rosca con varillas calibradas. (Mitutoyo).

El cálculo del diámetro del paso (E) se calcula sobre la base de las siguientes ecuaciones:

Para una rosca métrica o bien un tornillo unificado de 60° :

$$E = M - 3d + 0.866025 P$$

Para una rosca Whitworth de 55° :

$$E = M - 3.16568 d + 0.960491 P$$

Siendo:

d = Diámetro del hilo.

E = Diámetro del paso del tornillo.

M = Lectura del micrómetro incluyendo los tres hilos interpuestos.

P = Paso del tornillo.

En el caso de tornillos unificados es necesario tener en cuenta que es preciso pasar las pulgadas y fracciones de pulgada a milímetros.

$$M = d_2 + \frac{d_h}{\operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}} - \frac{P}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} + d_h + \delta$$

$$\delta = \frac{d_h}{2} \frac{P^2}{\pi^2} \frac{\cos \frac{\alpha}{2} \cot g \frac{\alpha}{2}}{d_2^2};$$

P = paso de la rosca.

d_h = hilo de medición.

d_2 = diámetro de paso.

M = dimensión teórica a la presión de medida δ .

α = ángulo de paso.

δ = factor de corrección.

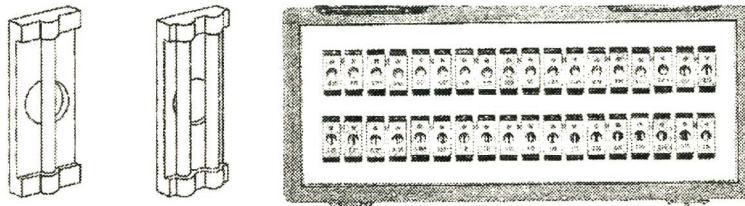


Figura 51. Varillas o hilos de medición de precisión montados sobre soportes portahilos y caja conteniendo juegos de placas. (Mitutoyo).

Proceso de medida

Se selecciona la pareja de soportes portahilos, cuyo diámetro resulte adecuado para la rosca a medir, y se procede a colocar el soporte que contiene las dos varillas en el yunque del micrómetro. Posteriormente se coloca el soporte que contiene una sola varilla en el husillo del mismo. Las plaquitas en su parte posterior tienen un orificio que encaja en las caras de medida de yunque y husillo.

Se introduce la pieza a medir en el micrómetro apoyándola en la varilla colocada en la placa del husillo. Se ajusta el micrómetro a la rosca a medir observando que la pieza esté en posición perpendicular al eje de ambos contactos. Es conveniente realizar varias mediciones a fin de obtener el valor medio.

Si las varillas calibradas por su diámetro se presentan sueltas se procede de igual forma.

z	n	W_1	z	n	W_1
			51	7	19.9031
			52	7	19.9171
			53	7	19.9311
			54	7	19.9452
			55	7	19.9592
			56	7	19.9732
			57	7	19.9872
			58	7	20.0012
			59	8	22.9678
			60	8	22.9813
			61	8	22.9953
12	2	4.5963	62	8	23.0093
13	2	4.6103	63	8	23.0233
14	2	4.6243	64	8	23.0373
15	2	4.6383	65	8	23.0513
16	3	7.6044	66	8	23.0653
17	3	7.6184	67	8	23.0794
18	3	7.6324	68	9	26.0455
19	3	7.5464	69	9	26.0595
20	3	7.6604	70	9	26.0735
21	3	7.6744	71	9	26.0875
22	3	7.6884	72	9	26.1015
23	3	7.7025	73	9	26.1155
24	4	10.6686	74	9	26.1295
25	4	10.6826	75	9	26.1435
26	4	10.6966	76	9	26.1575
27	4	10.7106	77	10	29.1237
28	4	10.7246	78	10	29.1377
29	4	10.7386	79	10	29.1517
30	4	10.7526	80	10	29.1657
31	4	10.7666	81	10	29.1797
32	4	10.37806	82	10	29.1937
33	5	13.7468	83	10	29.2077
34	5	13.7608	84	10	29.2217
35	5	13.7748	85	10	29.2357
36	5	13.7888	86	11	32.2019
37	5	13.8028	87	11	32.2159
38	5	13.8868	88	11	32.2299
39	5	13.8308	89	11	32.2439
40	5	13.8448	90	11	32.2579
41	6	16.8109	91	11	32.2719
42	6	16.8250	92	11	32.2859
43	6	16.8300	93	11	32.2999
44	6	16.8530	94	11	32.3139
45	6	16.8670	95	12	35.2800
46	6	16.8810	96	12	35.2940
47	6	16.8950	97	12	35.3080
48	6	16.9090	98	12	35.3221
49	6	16.9230	99	12	35.3361
50	7	19.8891	100	12	35.3501

Tabla 9. Valores de W para engranajes de módulo 1 y ángulo de presión 30° .

2.4.4.2. Micrómetros de interiores

Los micrómetros interiores son similares en cuanto a su principio de funcionamiento, basado en un tornillo micrométrico, a los micrómetros de exteriores, y la forma de lectura en cuanto a sus escalas es similar. Existen varios tipos fundamentales de micrómetros de interiores y profundidades:

- Micrómetros de profundidades, sondas micrométricas (02.09).
- Micrómetros de interiores de dos contactos (02.11).
- Micrómetros de interiores de tres contactos (02.12).

2.4.4.2.1. Micrómetro de profundidades, sonda micrométrica (02.09)

El micrómetro de profundidades o sonda micrométrica es un instrumento que consta de un tornillo micrométrico unido a una aguja o varilla, que puede incorporar base de apoyo o carecer de ella y que sirve para medir profundidades y escalonamientos con precisión micrométrica, como muestra la Figura 50. Algunos de estos micrómetros poseen varillas intercambiables que permiten aumentar su campo de medida. La comprobación de exactitud previa se puede realizar con bloques patrón agrupados, cada vez que se cambie la sonda de medida. Además, al utilizar una sonda distinta a la que el instrumento lleva montada, habrá que considerar su longitud para sumarla al valor hallado.

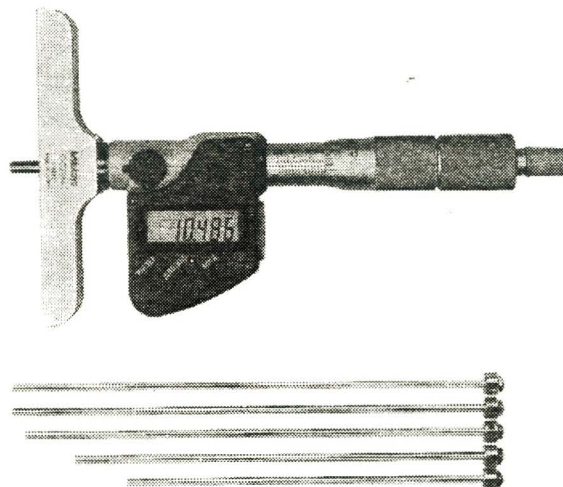


Figura 52. Micrómetro de profundidades o sonda micrométrica. (Mitutoyo).

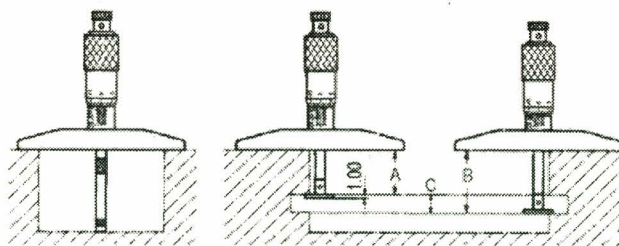


Figura 53. Posibilidades de medida de profundidades y escalonamientos con sondas micrométricas.

Modo de empleo

El procedimiento de medida con un micrómetro de profundidades es similar al empleado con un calibre de profundidades o calibre sonda en cuanto se refiera al correcto apoyo de la pieza que se desea medir. En cuanto a la utilización y aproximación con el trinquete, su uso es similar al de un micrómetro estándar. La única diferencia a considerar es que el sentido de la graduación de la escala en la medición tanto de interiores como de profundidades es inverso al de un micrómetro de exteriores, pues lógicamente la magnitud a medir crece con el avance del tornillo, al contrario de lo que ocurre con un micrómetro de exteriores en el que el avance significa que el espacio interpuesto entre yunque y husillo disminuye y, por tanto, también el mensurando situado entre ellos.

Posibilidades de medida de profundidades o escalonamientos

Para abordar medidas de profundidades o escalonamientos, existen diversas posibilidades en cuanto al empleo de instrumentos, que son los siguientes:

- Utilizar la varilla de profundidades de un calibrador universal.
- Utilizar un pie de rey o calibrador de profundidades.
- Utilizar un micrómetro de profundidades o sonda micrométrica.

La elección de uno de los tres instrumentos vendrá impuesta, entre otros factores, por la magnitud de la cota a controlar y también dependiendo de la precisión e importancia de la misma. Por ejemplo, si la cota fuese 26.245 mm, al contener milésimas de mm, implica el uso de un micrómetro de profundidades, si fuese 26.45 mm puede ser realizada con la varilla de profundidades de un pie de rey que tenga una sensibilidad de (0.05 mm) o bien con un calibre de profundidades de igual sensibilidad, eso sin tener en cuenta otras cuestiones como la importancia de la cota y la precisión exigible así como la accesibilidad o la

base de apoyo necesaria para efectuar la medición que también podrían condicionar el uso de uno u otro instrumento.

2.4.4.2.2. Micrómetro de interiores de dos contactos (02.11)

El micrómetro de interiores de dos contactos puede medir tanto interiores de revolución como de caras planas, pudiendo adosársele alargadores tubulares para aumentar su campo de medida según se muestra en la Figura 52.

Este tipo de micrómetro carece de dispositivo limitador de presión, y además es preciso asegurarse de que se mide el diámetro del orificio y no una cuerda próxima a él. Por lo tanto, requiere de cierta destreza en el manejo como se muestra en la Figura 54.

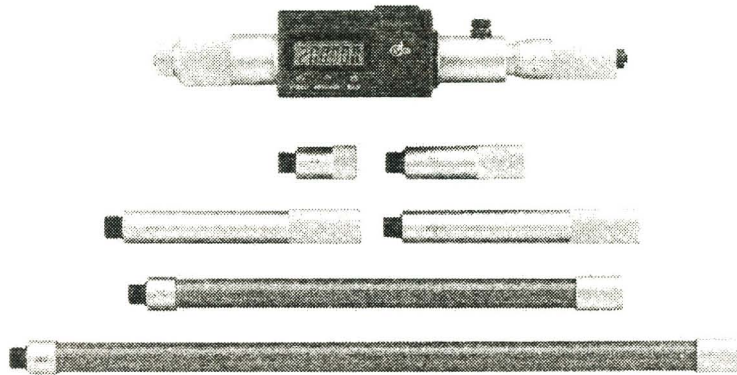


Figura 54. Micrómetro de interiores de dos contactos. (Mitutoyo).

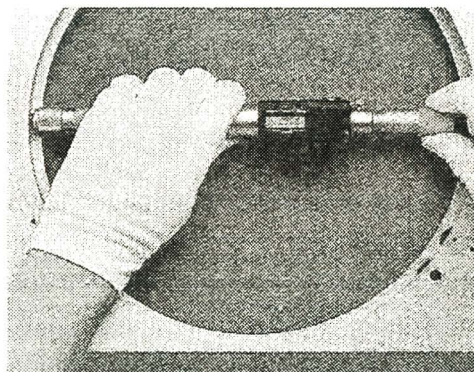


Figura 55. Utilización del micrómetro de interiores de dos contactos para la medición de un diámetro interior de gran tamaño. (Mitutoyo).

2.4.4.2.3. Micrómetro de interiores de tres contactos (02.12)

El micrómetro de interiores de tres contactos se diferencia del anterior, de dos contactos, en que está dotado de un mecanismo limitador de presión, trinquete, que permite controlar, limitándola, la presión de medida.

Su manejo no requiere gran destreza, ya que el hecho de disponer de tres contactos hace que se centre automáticamente dentro de la pieza cuyo diámetro se desea determinar, al describir dentro del mismo un triángulo equilátero.

Este tipo de micrómetro solo sirve para medir interiores de revolución, aunque con gran seguridad.

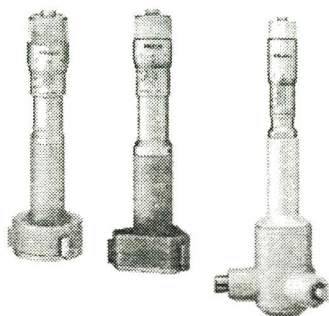


Figura 56. Micrómetros de tres contactos, diseños de la cabeza, medidora. (Mitutoyo).

Control de error comprobación de exactitud

La comprobación de exactitud o control de error, que es necesario realizar previo a la medición, se lleva a cabo con el auxilio de una anilla patrón que materialice un valor cualquiera dentro del intervalo de medida del instrumento. La necesidad de contar con estos patrones y el reducido campo de medida de cada uno de los micrómetros de interiores hacen que el control con estos instrumentos resulte costoso.

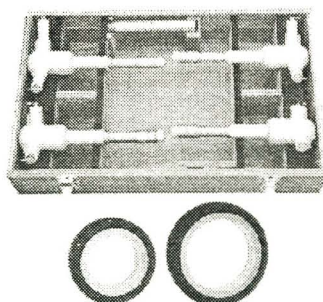


Figura 57. Estuche de micrómetros de tres contactos con sus cilindros o anillos patrón. (Mitutoyo).

El procedimiento de medida con un micrómetro de interiores de tres contactos es el siguiente:

- Proceder a la limpieza del micrómetro y de la pieza a medir.
- Introducir la cabeza medidora en la pieza.
- Accionar el trinquete hasta que los palpadores de la cabeza del micrómetro se ajusten en el interior de la pieza. Si al moverlo se soltara, lo accionamos de nuevo hasta obtener el ajuste.
- La lectura se efectúa sin extraer el micrómetro de la pieza, y de la misma forma en que se haría con un micrómetro convencional, pero teniendo en cuenta que en los micrómetros de interiores la escala está graduada en sentido inverso, ya que al medir interiores el progresivo avance del tornillo supone que el diámetro va en aumento.

Análisis comparativo entre los micrómetros de interiores

Micrómetro de dos contactos	Micrómetro de tres contactos
No tiene limitador de presión.	Tiene limitador de presión.
Requiere gran destreza.	No requiere gran destreza.
La medición es lenta.	La medición es rápida.
Mide interiores de revolución y planos.	Mide solo interiores de revolución.
Mide ovalizaciones y desgastes.	No mide desgastes ni ovalizaciones.
Adecuado para grandes diámetros.	Adecuado para diámetros pequeños y medios.

Tabla 10. Ventajas e inconvenientes de los micrómetros de dos y tres contactos.

2.4.4.2.4 Micrómetro de interiores para la medida de interiores roscados

Existen dos variantes de micrómetros de interiores, uno semejante en su principio constructivo al micrómetro de interiores convencional de tres contactos, en el que la única diferencia estriba en que los tres palpadores no poseen caras de medida redondeadas como en el caso anterior, sino que adoptan el perfil de la rosca a verificar.

Una serie de anillos patrón roscados interiormente a diversos diámetros y pasos normales permiten realizar la comprobación de exactitud o control de error del instrumento.

Existe otra variante que consiste en un micrómetro de dos contactos en los extremos, las caras de medida de los palpadores son adecuadas al perfil de la rosca a controlar que se muestra en la Figura 58.

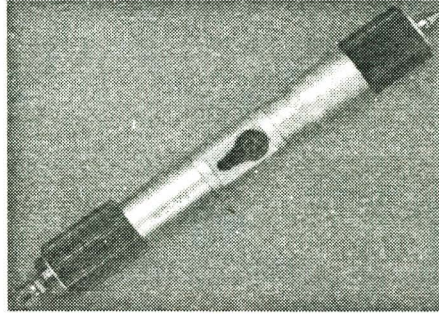


Figura 58. Micrómetro de interiores para la medida de interiores roscados. (Mitutoyo).

2.5. Relojes comparadores (03)

Los relojes comparadores también denominados comparadores de carátula, en inglés *dial gauge*, son instrumentos de gran precisión. Se caracterizan porque no proporcionan el valor total de la medida, ya que sus escalas carecen de capacidad para ello y, como su propio nombre indica, se utilizan para realizar medidas por comparación tomando como referencia otras piezas de dimensiones conocidas o bien patrones, es decir, que nos proporcionan con una gran precisión la diferencia de una cota con respecto a otra que se ha tomado como referencia.

Sobre relojes comparadores consultar UNE 82-310-85.

Su funcionamiento está basado en sistemas de amplificación, que puede ser mecánica, neumática, hidráulica o electrónica, que permite que un pequeño desplazamiento vertical del palpador situado en el extremo del husillo, sea aumentado o amplificado, posibilitando así una lectura exacta y fácil y convirtiendo el desplazamiento vertical en un desplazamiento axial de un marcador o aguja sobre la carátula.

Los relojes comparadores pueden ser clasificados según el sistema de amplificación que emplean.

Los más utilizados en el taller son los de amplificación mecánica denominados generalmente comparadores.

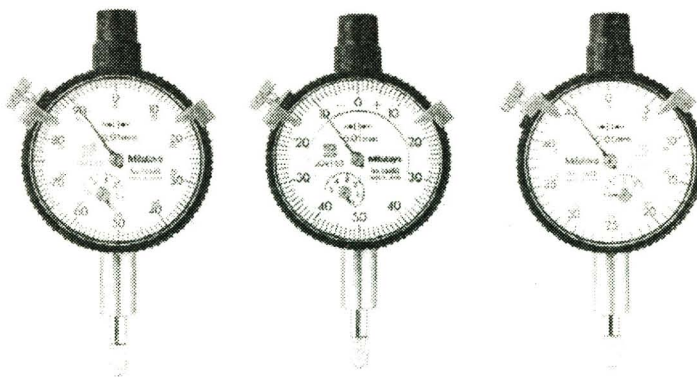


Figura 59. Reloj comparador o comparador de esfera mecánico. (Mitutoyo).

Tipos

Cuando la amplificación se realiza mediante un mecanismo de relojería, basado en la amplificación del movimiento vertical mediante un tren de engranajes, que finalmente dan lugar al movimiento axial de la aguja sobre la carátula. Existen también comparadores neumáticos que se utilizan cuando las superficies a medir no pueden sustentar palpadores mecánicos, y, por último, existen también comparadores ópticos y electrónicos.

La norma americana (AGD) *American Gauge Design* clasifica a los comparadores del 0 al 4, en función de los rangos de sus diámetros.

Los comparadores para ser utilizados deben ser montados sobre soportes rígidos, aunque también los encontramos incorporados a otros instrumentos como se ha expuesto en el caso de los pies de rey y los micrómetros

Las amplificaciones que se pueden conseguir con ellos dependen del tipo de comparador de que se trate y pueden lograr amplificaciones diferentes, dando lugar a dos tipos de sensibilidades, centesimal o milesimal.

Reloj comparador o comparador de esfera

Es el más difundido en el taller mecánico. Consta de los siguientes elementos principales: varilla, palpador, caja, agujas o manecillas indicadoras, tanto para escala centesimal, como para la milesimal y soporte de fijación.

Esfera graduada, aguja, palpador, esfera pequeña, cuentavueeltas, manecillas regulables, para indicar un campo de tolerancias, husillo (sirve para elevar el palpador), cremallera, piñón, rueda dentada y resorte espiral.

El valor de la división en la esfera grande es de (0.01 mm) y el de la pequeña (1 mm).

Su uso del reloj comparador, o comparador de esfera resulta de gran utilidad para realizar diversas operaciones tales como control de paralelismo en superficies, guías, medición de espesores, profundidades, etc.

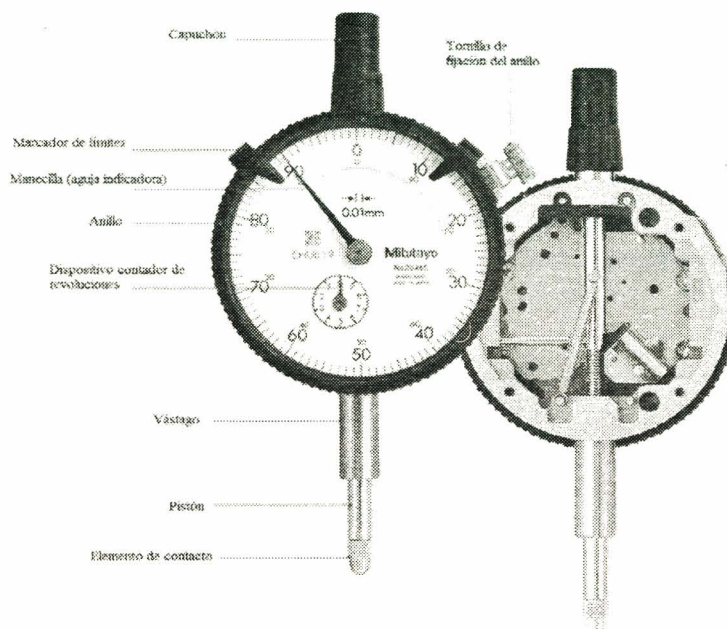


Figura 60. Reloj comparador, partes. (Mitutoyo).

Lectura

La primera operación antes de medir con el comparador consiste en contrastarlo con la pieza o con el patrón que se utiliza como referencia, ya que el comparador indica el valor de la variación positiva o negativa respecto a ella. Para hacerlo se coloca el comparador en el soporte que resulte más adecuado, se alza el husillo elevando el capuchón y se introduce la cota de referencia, apoyando suavemente el husillo sobre ella. Al hacerlo la aguja se desplazará tomando un valor cualquiera, dado que lo que se persigue es controlar la variación de otra u otras cotas con respecto a ella, se gira la escala de la carátula y se hace coincidir la posición de la aguja con el valor cero de la misma. De esta forma el comparador queda preparado para controlar la variación de otra cota con respecto a la de referencia.

La lectura de la esfera en un reloj comparador estándar es muy sencilla, la manecilla mayor indica directamente centésimas, mientras que la menor nos indica los milímetros enteros que se ha desplazado el palpador en caso de que este sea métrico, si no indicaría pulgadas. Se comienza la lectura por la manecilla menor, que nos indica los milímetros enteros, y la mayor, que marca las centésimas, en el caso de los centesimales. Si el comparador puede apreciar milésimas, estas se leerán también sobre el círculo que rodea la carátula. Además, algunos comparadores están dotados de una doble numeración en rojo que permite medir con facilidad profundidades e interiores.

Cuando la aguja o manecilla se desplace en sentido horario, la diferencia de valor que indican respecto a la medida de referencia es positiva (+).

Cuando la aguja se desplace en sentido antihorario, la variación de valor indicada es negativa (-).

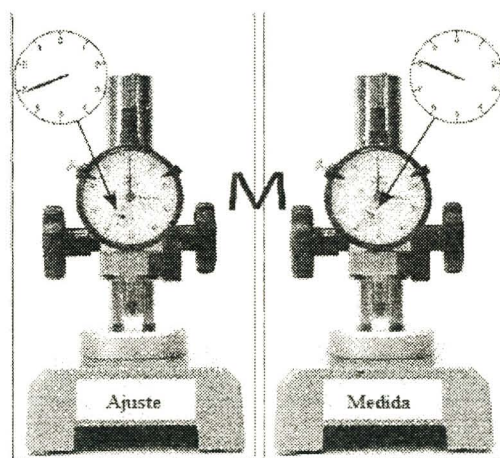


Figura 61. Reloj comparador sobre soporte. (Mitutoyo).

Modo de empleo

El comparador es un instrumento que presenta la peculiaridad de que no puede manejarse directamente a mano sin la ayuda de un soporte, ya que requiere una sujeción rígida que permita la colocación estable del mismo. Esta sujeción generalmente es una base universal o una base magnética.

Es muy importante en las mediciones con comparador de esfera situar el eje del comparador en el mismo sentido en el que varíe la magnitud que se está midiendo.

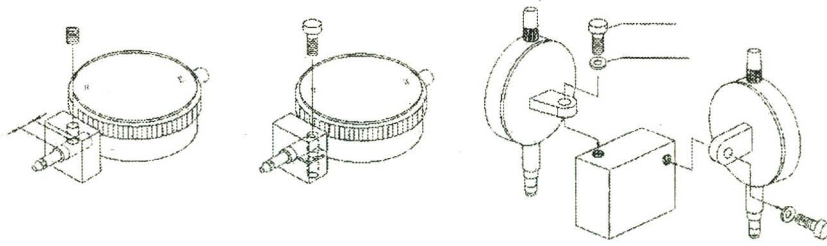


Figura 62. Montaje de un reloj comparador, vástago y orejeta. (Mitutoyo).

El reloj comparador permite intercambiar el vástago amarrándolo con un tornillo tal como se muestra en la primera y segunda secuencias de la Figura 62.

En la tercera secuencia de la Figura 62 se muestra el montaje de la orejeta situada en la parte posterior de la que los comparadores están provistos para su amarre al soporte. Tal como se muestra en la imagen, se puede cambiar la posición de la orejeta según convenga.

Tipología

Los relojes comparadores pueden clasificarse en función de su sistema de amplificación, en función de su sensibilidad, en centesimales y milésimales.

En función de las unidades en las que están graduadas sus escalas, en métricos o en pulgadas.

En función de la forma del palpador, en esféricos, en cuchilla, con punta en rodillo, con punta plana, con punta cónica, o con palpador oscilante centrado y bidireccional que permite la inversión automática del sentido de la medición. En general, los palpadores esféricos son adecuados para medir por contacto superficies planas, mientras que los palpadores planos resultan adecuados para medir sobre cilindros o esferas.

Por la disposición del émbolo con respecto a la carátula, pueden ser estándar, es decir, paralelo o con émbolo trasero cuando el émbolo es perpendicular a la carátula.

Los relojes comparadores pueden ser de varias revoluciones o de una sola revolución. Los comparadores de una sola revolución limitan la rotación del puntero a una sola revolución, eliminan los errores de lectura que pueden producirse con los relojes comparadores que tienen más de una vuelta de la aguja para un recorrido completo.

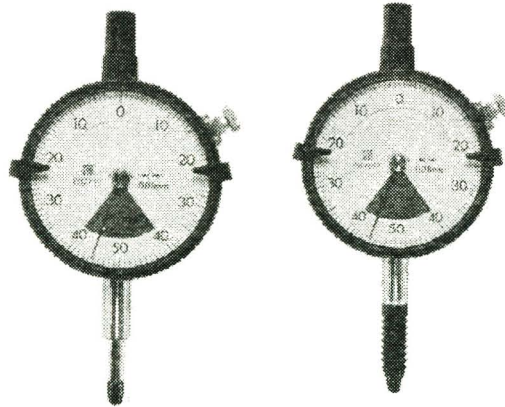


Figura 63. Relojes comparadores de una sola revolución. (Mitutoyo).

Una variante del reloj comparador es el reloj palpador que resulta muy adecuado para la comprobación de planitud, concentricidad, de piezas mecanizadas. El palpador va fijado en un gramil que se desliza sobre la mesa de planitud, el «mármol», de verificación y con él se pueden leer las diferencias de planitud que tiene una pieza tras haber sido mecanizada.

El reloj comparador puede utilizarse como un instrumento de verificación para comprobar si una cota determinada está o no incluida dentro de un determinado campo de tolerancia. Esta verificación se realiza poniendo el comparador a cero para la medida nominal, materializada a través de bloques patrón, y con las manecillas indicando respectivamente el valor máximo y mínimo, extremos de esa tolerancia. Con ello, al ir comprobando cotas, se puede llevar a cabo una verificación, sin necesidad de leer la escala y limitándose a comprobar que la manecilla se mantiene dentro del campo de tolerancia definido.

Controles con relojes comparadores

Los comparadores son enormemente versátiles y permiten medir entre otras:

- Planitud.
- Cilindricidad.
- Circularidad.
- Excentricidad.
- Concentricidad.
- Esfericidad.

- Desviación.
- Desplazamiento.

En la Figura 64, a continuación, se representa el control de paralelismo de dos caras de una pieza. La operación se realiza midiendo diferentes puntos de una superficie y luego de la otra.

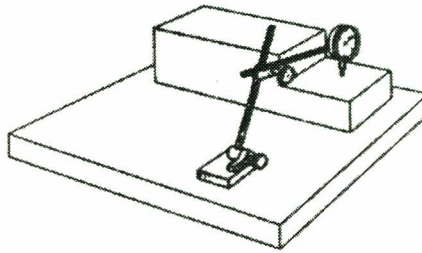


Figura 64. Control de paralelismo de dos caras de una pieza.

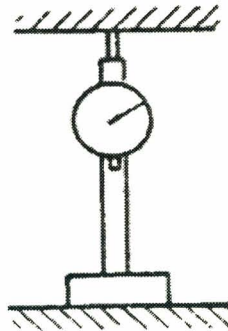


Figura 65. Control de paralelismo de dos planos encarados.

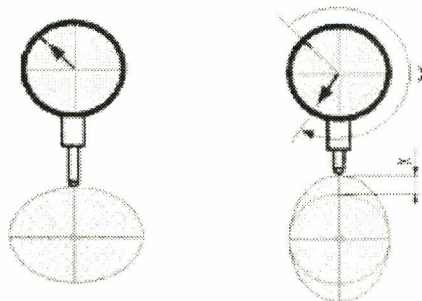


Figura 66. Control de redondez, detección de ovalización. (Mitutoyo).

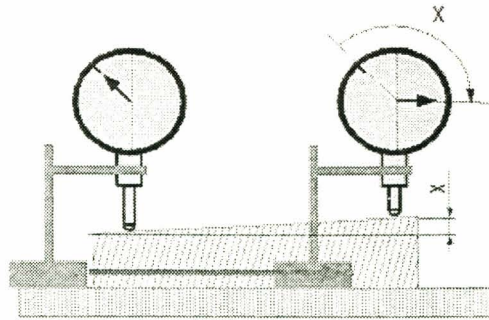


Figura 67. Control de planitud, inclinación. (Mitutoyo).

La Figura 65 muestra la comprobación de paralelismo de dos planos encarados, la base del comparador se apoya sobre uno de ellos; mientras que, en el caso anterior, la superficie o plano de referencia es una mesa de planitud.

Por otra parte, los relojes comparadores pueden servir para comprobar la ovalización de un diámetro tal como se muestra en la Figura 66, o para controlar el estado de planitud de una superficie o su inclinación, tal como muestra la Figura 67.

Errores de coseno

El error de coseno es en realidad un error de posicionamiento que se origina cuando el operador no coloca la pieza a medir, el mensurando, correctamente alineada con la escala del instrumento de medida, lo que puede producirse, cuando se mide con instrumentos manuales cuando se mide sobre superficies grandes.

Este error es típico de los relojes comparadores, por lo general la casi totalidad de errores de posicionamiento se reducen a la inclinación existente entre escala y dirección de medida, por lo que en última instancia son función del coseno del ángulo de inclinación, de ahí su denominación.

En los indicadores de pruebas de carátula se realizan diseños especiales para evitar este error que consiste en dotarlos de un palpador ajustable para minimizar el ángulo de inclinación y por tanto su coseno.

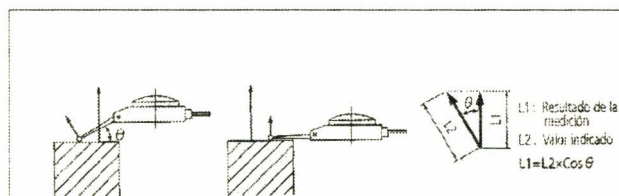


Figura 68. Indicador de prueba de carátula con palpador ajustable. (Mitutoyo).

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

Tabla 11. Correcciones para ángulos distintos de 0°.

Instrumentos basados en el comparador de esfera

Como instrumento más importante cabe citar el alexómetro, que es un instrumento que puede medir con precisión centesimal o milesimal, dependiendo de la sensibilidad del comparador de esfera del que vaya provisto. El alexómetro se utiliza para realizar mediciones rápidas tanto en interiores como en pequeños agujeros.

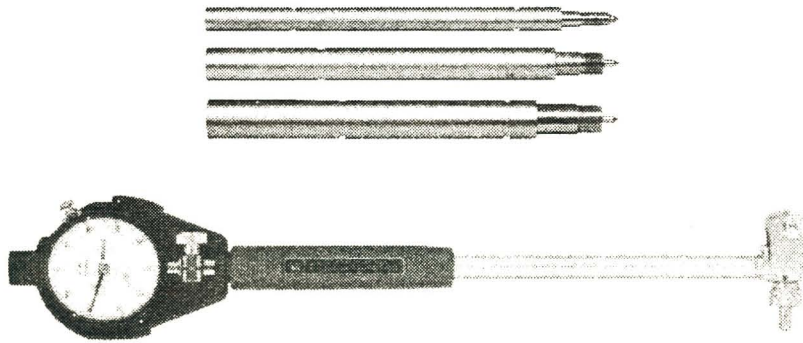


Figura 69. Medidor rápido de interiores con reloj comparador, consta de reloj, cuerpo, centrador y contacto fijo regulable y accesorios de prolongación. (Mitutoyo).

Existen instrumentos basados en el reloj comparador, pero que pueden adoptar formas muy diferentes y que están especialmente indicados para la medida de espesores en piezas complicadas, especialmente en piezas de fundición, según muestra la Figura 70.

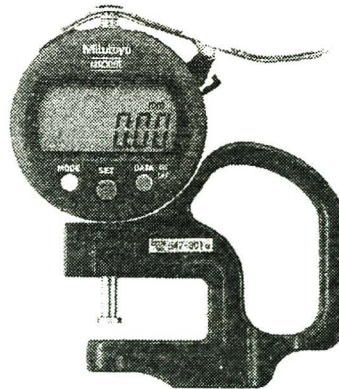


Figura 70. Comparador para la medida de espesores. (Mitutoyo).

Mantenimiento y cuidados

El pistón es un elemento del reloj comparador que exige ciertos cuidados, resulta importante no lubricarlo, ya que en ese caso atraería partículas de polvo o suciedad que podrían producir el bloqueo del mismo o un funcionamiento defectuoso.

Si al comprobar el funcionamiento del pistón se observara que no es correcto, es necesario limpiar las superficies, tanto exterior como inferior del pistón, con un paño seco o bien con alcohol. Previamente a la realización de una medición o calibración, es preciso confirmar que el funcionamiento del husillo es correcto, es decir, que se desplaza hacia arriba y hacia abajo con suavidad y también comprobar la estabilidad del punto cero.

Influencia de la orientación en la fuerza de medida

La posición normal de un reloj comparador con respecto al plano que mide es que su contacto esté situado hacia abajo, tal como se muestra en la primera secuencia de la Figura 71.

La posición lateral con el pistón situado horizontalmente es también posible, así como la posición con el elemento de contacto hacia arriba y el comparador situado de cabeza abajo, tal como muestran las secuencias segunda y tercera de la Figura 71.

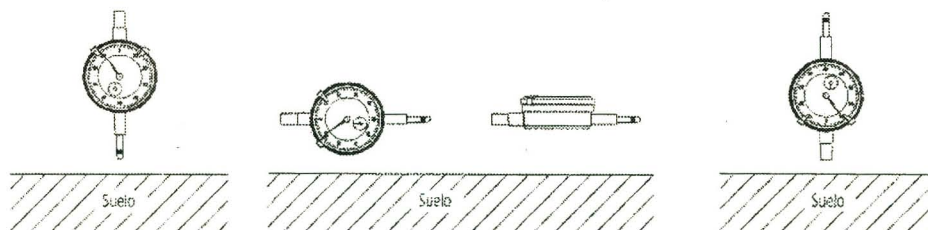


Figura 71. Diferentes posiciones de medición con un reloj comparador. (Mitutoyo).

Aunque las posiciones tanto horizontal como cabeza abajo resultan posibles, es necesario tener en cuenta que la medición se lleva a cabo con una fuerza menor que cuando la medición se realiza en la posición normal, por lo que en ambos casos es necesario asegurarse de comprobar el funcionamiento y la repetibilidad del indicador o pantalla digital.

Ajuste del origen

En el caso de ajuste del punto cero cuando el comparador es digital, las especificaciones en el rango de 0.2 mm desde el fin de la carrera no está garantizado. Cuando el ajuste del punto cero se establezca previamente a un valor especificado, es preciso asegurarse de elevar el husillo al menos 0.2 mm desde el fin de la carrera.

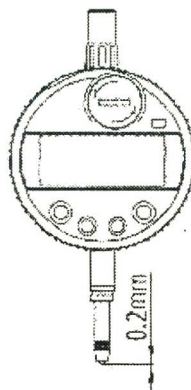


Figura 72. Ajuste del origen de un indicador digital. (Mitutoyo).

La calibración de un reloj comparador se lleva a cabo mediante el uso de bloques patrón longitudinales.

2.6. Instrumentos de verificación: calibres fijos de límites (02.14)

En la fabricación de grandes series de piezas o elementos mecánicos no resulta operativo realizar mediciones individuales, sino verificaciones, es decir, comprobaciones que permitan asegurar que el elemento fabricado se encuentra dentro de los márgenes o especificaciones de tolerancia previstos. Para ello, se han desarrollado una serie de instrumentos de verificación que se caracterizan por no contar con escalas de medida. Son los calibres fijos, también denominados calibres de límites o de tolerancias, en los talleres comúnmente conocidos como calibres «pasa/no pasa», en inglés «*go/don't go*», que materializan los valores extremos, máximo y mínimo de una tolerancia determinada, y permiten verificar con rapidez y sin necesidad de utilizar instrumentos delicados o sofisticados la aceptación o no de las piezas fabricadas, es decir, la conformidad o no conformidad de un cierto elemento dimensional con respecto a una condición preestablecida, su intervalo de tolerancia dimensional.

Estos calibres pueden adoptar formas muy diversas, dependiendo del tipo de pieza o elemento que verifiquen. Por ejemplo, para los ejes adoptan la forma de anillas; un juego de dos, una denominada «pasa» y otra denominada «no pasa».

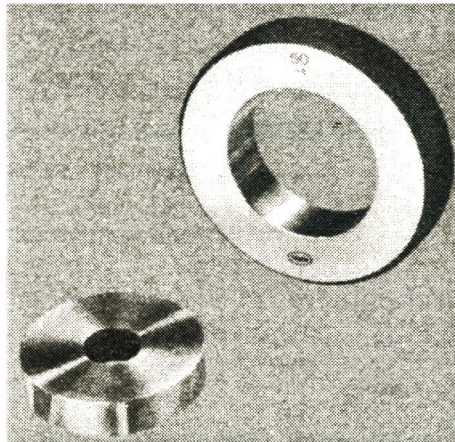


Figura 73. Juego de calibres fijos de anilla, «pasa/no pasa». (Mitutoyo).

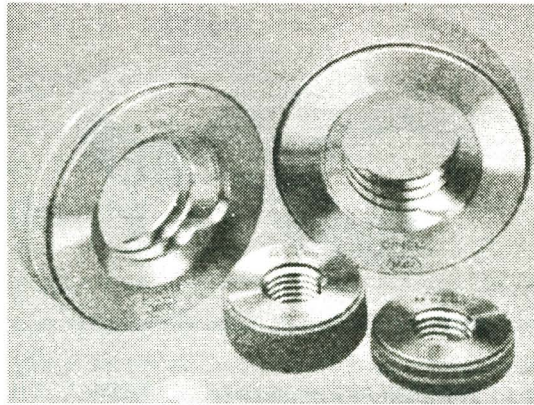


Figura 74. Juego de calibres fijos para roscas exteriores, «pasa/no pasa». (Mitutoyo).

Si se trata de la verificación de diámetros de agujeros tendremos un único calibre tampón o cilíndrico que en cada uno de sus extremos materializa el límite máximo y mínimo de la tolerancia. Los calibres tampón pueden ser roscados para controlar las tolerancias de agujeros roscados.

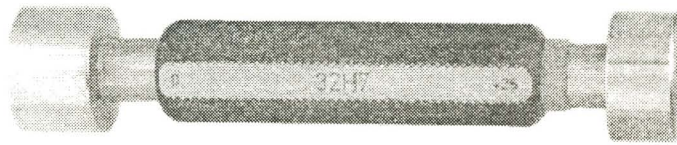


Figura 75. Calibre tampón cilíndrico para agujeros.



Figura 76. Calibre tampón para agujeros roscados.

Existen también calibres de tolerancia adaptables para ejes, estos pueden ajustarse dentro de unos límites utilizando bloques patrón, compensando los desgastes por uso. Para proceder a su reglaje, es preciso liberar los tornillos de fijación, mover los de arrastre y situar los topes o palpadores a la medida volviendo a bloquear los tornillos. La Figura 77 muestra uno de este tipo.

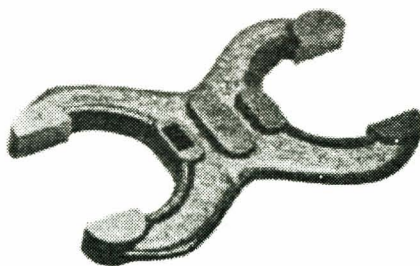


Figura 77. Calibre de doble herradura.

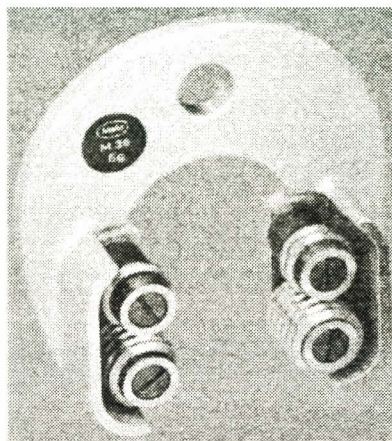


Figura 78. Calibre de herradura regulable.

Sobre este instrumental consultar las siguientes normas: UNE 4-031-76, UNE 4-033-83 y UNE 4-034-79.

Por otra parte, están las galgas, que en realidad son instrumentos de comparación, pero que se han incluido en este apartado. Existen de diferentes tipos, y, dependiendo de su tipo, sirven para comprobar roscas, espesores, radios, dientes de engranajes, etc.

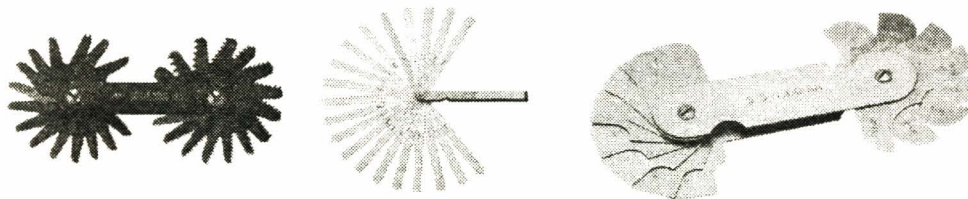


Figura 79. Galgas de roscas, espesores y radios.