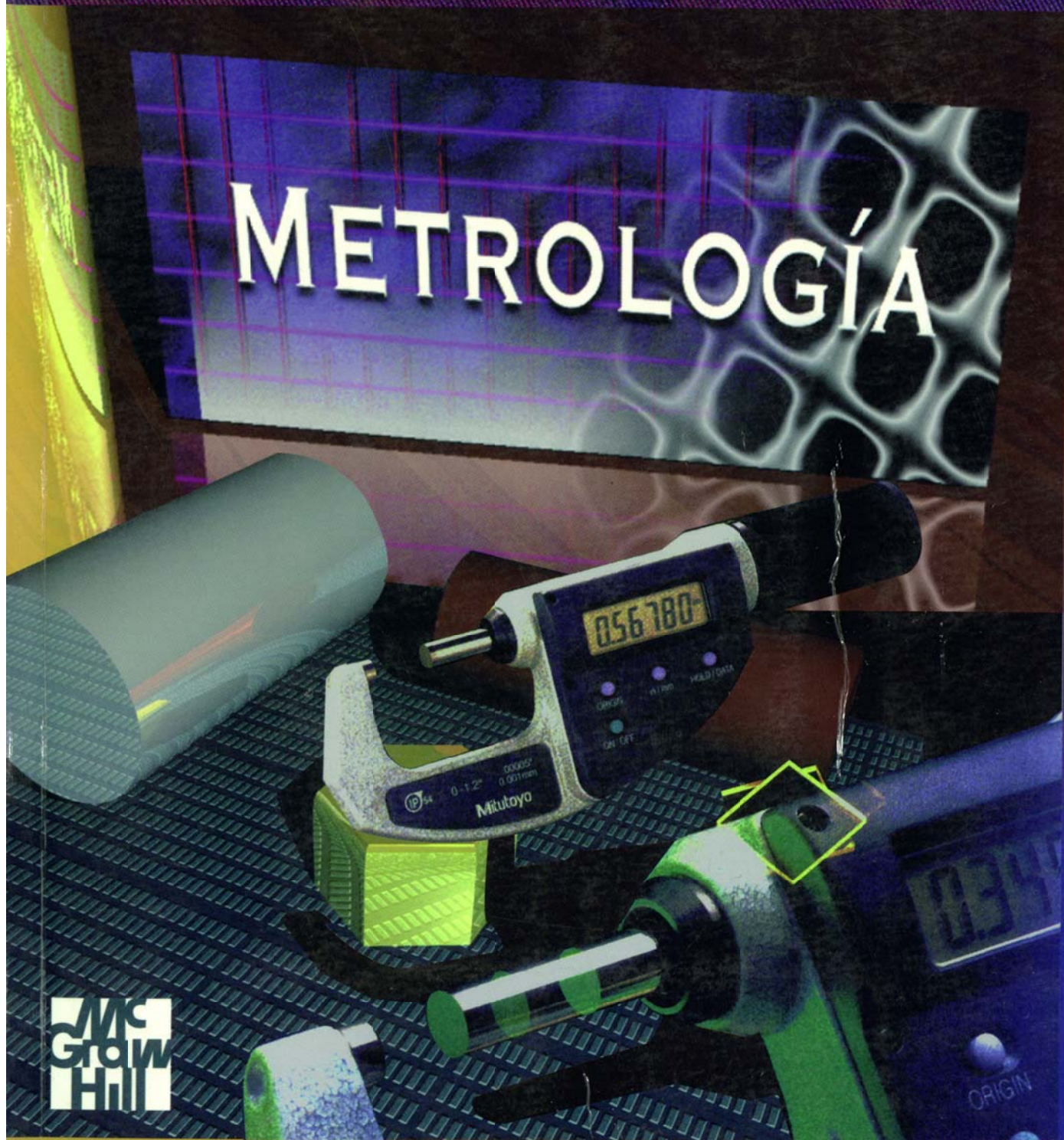


Carlos González • Ramón Zeleny

# METROLOGÍA



Mc  
Graw  
Hill





# METROLOGÍA





# METROLOGÍA

## Carlos González González

Ingeniero en Comunicaciones Eléctricas y Electrónica  
de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME),  
del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Fundador del Instituto de Metrología de MITUTOYO.

Director de planta de MITUTOYO (1988-1992).

Director del Instituto de Metrología MITUTOYO (1987-1993).

Fellow Member de la ASQC (American Society for Quality Control).

## José Ramón Zeleny Vázquez

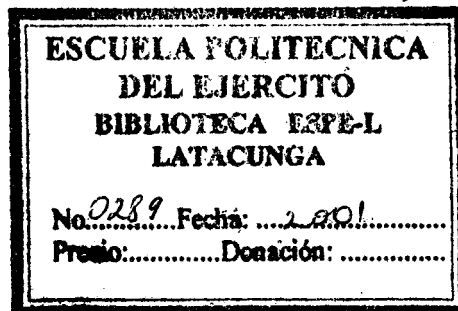
Ingeniero Industrial Mecánico del Instituto Tecnológico de Puebla.

Ingresó al Instituto de Metrología MITUTOYO en 1988.

Actualmente es el gerente general del mismo.

Desde 1988 ha impartido numerosos cursos de metrología dimensional, calibración de instrumentos, tolerancias geométricas, repetibilidad y reproducibilidad (R y R), control estadístico del proceso, a personal de muy diversas industrias e instituciones educativas.

Ha sido el responsable de lograr el acreditamiento del Laboratorio de Calibración del Instituto de Metrología MITUTOYO (IMM), ante SNC. Además es el editor de la revista técnica Mundo Mitutoyo.



McGRAW-HILL

MÉXICO • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • LISBOA • MADRID • NUEVA YORK  
PANAMÁ • SAN JUAN • SANTAFÉ DE BOGOTÁ • SANTIAGO • SÃO PAULO  
AUCKLAN • HAMBURGO • LONDRES • MILÁN • MONTREAL • NUEVA DELHI • PARÍS  
SAN FRANCISCO • SINGAPUR • ST. LOUIS • SIDNEY • TOKIO • TORONTO

**Gerente de producto:** Javier Enrique Callejas  
**Supervisor de producción:** Gerardo Briones González  
**Supervisor de edición:** Javier López Campoy

## **METROLOGÍA**

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra,  
por cualquier medio, sin autorización escrita del editor.

**DERECHOS RESERVADOS © 1995, respecto a la primera edición por  
McGRAW-HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A. de C.V.**

Atlacomulco 499-501, Fracc. Ind. San Andrés Atoto,  
53500 Naucalpan de Juárez, Edo. de México

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial, Reg. Núm. 1890

**ISBN: 970-10-0370-5**

1234567890

LI-95

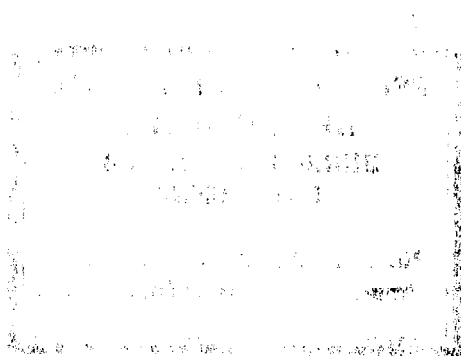
9087643215

Impreso en México

Printed in Mexico

Esta obra se terminó de  
imprimir en Octubre de 1995 en  
Litográfica Ingramex  
Centeno Núm 162-1  
Col. Granjas Esmeralda  
Delegación Iztapalapa  
09810 México, D.F.

Se tiraron 4,000 ejemplares





Agradecimientos:

Agradecemos a MITUTOYO CORPORATION (Japón),  
MITUTOYO/MTI CORPORATION (Estados Unidos)  
y al INSTITUTO DE METROLOGÍA MITUTOYO DEL JAPÓN  
por permitirnos el uso de figuras de sus catálogos y de sus textos.





# Contenido

Introducción .....	XV
<b>CAPÍTULO 1 Bosquejo histórico .....</b>	<b>1</b>
Tablas de pesos y medidas .....	3
Unidades de longitud en épocas antiguas .....	5
<b>CAPÍTULO 2 Normas y normalización .....</b>	<b>25</b>
Introducción .....	25
Normalización .....	25
Norma .....	25
Especificación .....	26
Objeto de la Normalización .....	26
Principios básicos de la Normalización .....	26
Espacio de la Normalización .....	26
Principios científicos de la Normalización .....	34
Aspectos fundamentales de la Normalización .....	37
Metodología de la Normalización .....	38
La Norma de Normas .....	39
<b>CAPÍTULO 3 Metrología dimensional .....</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO 4 Sistemas de unidades de medida .....</b>	<b>45</b>
Introducción .....	45
<b>CAPÍTULO 5 Errores en la medición .....</b>	<b>53</b>
Introducción .....	53
Medida del error .....	53
Clasificación de errores en cuanto a su origen .....	54
Medición y registro .....	64
<b>CAPÍTULO 6 Medición con instrumentos básicos .....</b>	<b>67</b>
Introducción .....	67
Medición con reglas .....	67
Lainas (medidores de espesor) .....	73
Patrones de radios .....	74
Patrones para alambres, brocas y láminas .....	74
Cuentahilos .....	75
Compases .....	76
Calibres telescópicos .....	76

Calibres para agujeros pequeños . . . . .	77
Trazadores y gramil . . . . .	79
Calibres angulares . . . . .	80
Lupas de comparación . . . . .	80
<b>CAPÍTULO 7 Calibradores . . . . .</b>	<b>83</b>
Calibradores vernier . . . . .	83
Calibradores de carátula . . . . .	114
Calibradores electrodigitales . . . . .	134
Medidores de profundidad . . . . .	139
<b>CAPÍTULO 8 Medidores de altura . . . . .</b>	<b>143</b>
Introducción . . . . .	143
Medidor de altura con vernier . . . . .	143
Precauciones cuando se mida con medidores de altura . . . . .	146
Medidores de altura con carátula . . . . .	151
Medidor de altura con carátula y contador . . . . .	151
Medidores de altura electrodigitales . . . . .	154
Cuidados requeridos al utilizar medidores de altura . . . . .	159
<b>CAPÍTULO 9 Micrómetros . . . . .</b>	<b>163</b>
Introducción . . . . .	163
Principio del micrómetro . . . . .	164
Lectura del micrómetro . . . . .	166
Partes del micrómetro estándar de exteriores . . . . .	169
Micrómetros para aplicación especial . . . . .	174
Cabezas micrométricas . . . . .	185
Micrómetros de interiores . . . . .	185
Micrómetros de profundidades . . . . .	194
Micrómetros digitales . . . . .	198
Micrómetros electrodigitales . . . . .	203
Errores involucrados en la medición con micrómetro . . . . .	204
Cuidados generales requeridos al utilizar micrómetros . . . . .	212
<b>CAPÍTULO 10 Indicadores . . . . .</b>	<b>219</b>
Indicadores de carátula . . . . .	219
Medidores de agujeros con indicador de carátula . . . . .	239
Indicadores electrodigitales . . . . .	255
Indicadores de carátula tipo palanca . . . . .	260
<b>CAPÍTULO 11 Instrumentos electrodigitales . . . . .</b>	<b>271</b>
Introducción . . . . .	271
Sensores de posición . . . . .	273
Funciones básicas de instrumentos electrodigitales de medición . . . . .	276



Sistema M-SPC .....	289
Cuidados requeridos al utilizar instrumentos electrodigitales de medición .....	299
Otras características y aplicaciones .....	305
Código IP .....	314
<b>CAPÍTULO 12 Bloques patrón .....</b>	<b>315</b>
La historia del bloque patrón .....	315
Requerimientos para los bloques patrón .....	316
Precauciones para cuando se utilicen bloques patrón .....	328
Procedimiento de adherencia .....	330
Unión de bloques patrón grandes .....	334
Cuidados que deben tenerse con los bloques después de usarlos .....	334
Factores de error que afectan los bloques patrón .....	335
Forma y características de los bloques patrón .....	337
Inspección periódica .....	339
Accesorios para bloques patrón .....	341
Uso de los bloques patrón .....	346
Bloques patrón de cerámica .....	347
<b>CAPÍTULO 13 Superficies planas de referencia .....</b>	<b>353</b>
Historia .....	353
Mesas de granito .....	356
<b>CAPÍTULO 14 Medición angular .....</b>	<b>365</b>
Introducción .....	365
El transportador y el goniómetro .....	366
Patrones angulares y regla de senos .....	371
Escuadras .....	376
Niveles .....	380
<b>CAPÍTULO 15 Sistemas de ajustes y tolerancias .....</b>	<b>385</b>
Introducción .....	385
Definición de tolerancia y ajuste .....	385
Formas de expresión de tolerancia .....	386
Condiciones de material .....	389
Determinación del tipo de ajuste .....	390
El sistema americano .....	393
Interpretación de límites de tamaño .....	394
Calibres de dimensión fija .....	396
Perno patrón cilíndrico .....	399
Calibres especiales .....	401
Normas de referencia .....	406

<b>CAPÍTULO 16 Comparadores ópticos .....</b>	<b>409</b>
Introducción .....	409
Clasificación .....	410
Sistema de iluminación .....	411
Medición lineal .....	415
Medición angular .....	419
Uso de plantillas .....	421
Lentes de proyección .....	421
Detector de borde .....	423
Microprocesador .....	424
<b>CAPÍTULO 17 Metrología superficial rugosidad .....</b>	<b>427</b>
Introducción .....	427
Las curvas P y R .....	432
Definición de Ra .....	434
Definición de Rz .....	436
Definición de Ry .....	437
Símbolos para la dirección de marcado .....	438
Recomendaciones prácticas para medir la rugosidad de una superficie .....	440
Rugosímetros .....	443
Definición de otros parámetros .....	447
Curvas de ondulación .....	460
Normas de referencia .....	461
<b>CAPÍTULO 18 Calibres de verificación neumáticos .....</b>	<b>463</b>
Medición del flujo por medio del efecto de arrastre .....	463
Rotámetro .....	465
<b>CAPÍTULO 19 Instrumentos de medición de presión .....</b>	<b>469</b>
Manómetro de tubo de bourdon .....	469
<b>CAPÍTULO 20 Termómetros .....</b>	<b>475</b>
Bases y fundamentos de medición de la temperatura por efectos mecánicos .....	475
<b>CAPÍTULO 21 Torquímetro y freno de prony .....</b>	<b>483</b>
Par mecánico y definición de torsión .....	483
Efecto de la torsión .....	483
Momento de torsión .....	483
Momento polar de inercia .....	484
Esfuerzo cortante torsional .....	484
Deformación al corte .....	484

Módulo cortante de elasticidad .....	484
Ángulo de torsión .....	485
Freno de Prony .....	485
Medidores de deformación con resistencia eléctrica (Strain gages) .....	486
<b>CAPÍTULO 22 Mediciones eléctricas básicas .....</b>	<b>489</b>
Introducción .....	489
Galvanómetro .....	489
Ley de Ohm .....	501
Amperímetros .....	502
Óhmetros .....	513
<b>CAPÍTULO 23 Sistema internacional de unidades (SI) .....</b>	<b>519</b>
Introducción .....	519
Unidades base .....	519
Unidades suplementarias .....	519
Algunas unidades derivadas más comunes .....	520
Prefijos para formar múltiplos y submúltiplos del SI .....	520
<b>ANEXO I</b>	
Ley Federal sobre Metrología y Normalización .....	539
<b>EJERCICIOS .....</b>	<b>581</b>



# Prólogo

**Metrología [Metron = Medida, Logos = Tratado]** De acuerdo con sus raíces la metrología está relacionada con todas y cada una de las actividades de la humanidad. Y ayuda a todas las ciencias existentes para facilitar su entendimiento, aplicación, evaluación y desarrollo, habiendo estado ligada al hombre desde su creación o aparición sobre la faz de la tierra.

Hoy en día contamos con el Sistema Internacional de Unidades (SI) que es una versión modernizada del sistema métrico establecido por acuerdo internacional, suministra un marco lógico interconectado con todas las mediciones de ciencia, industria y comercio.

Oficialmente abreviado SI, el sistema es construido sobre los cimientos que forman siete unidades base, más dos unidades suplementarias.

Todas las demás unidades del SI se derivan desde estas unidades. Los múltiplos y submúltiplos son expresados en un sistema decimal.

## Unidades Base

Longitud	=	Metro	m
Masa	=	Kilogramo	kg
Tiempo	=	Segundo	s
Corriente Eléctrica	=	Ampere	A
Temperatura	=	Kelvin	K
Cantidad de Substancia	=	Mol o Mole	mol
Intensidad Luminosa	=	Candela	cd

## Unidades Suplementarias

Ángulo Plano	=	Radian	rad
Ángulo Sólido	=	Steradian	sr

Para llegar a la integración de este Sistema Internacional de Unidades (SI) han pasado milenios y ha necesitado la concurrencia de brillantes cerebros, pero más que nada, de trabajo arduo y constante por lo que este libro pretende involucrar y ayudar a todos aquellos que en los talleres, las líneas de producción, laboratorios, y comercios en general desempeñan labores de medición para que ésta, sea justa, exacta, consistente, y sobre todo de acuerdo con una norma nacio-



nal e internacional reconocida entre proveedores y consumidores porque depende de ello el acceso exitoso a los mercados mundiales en un ambiente competitivo, ya que los acuerdos internacionales e inclusive las relaciones bilaterales no pueden funcionar si no se establecen y se cumplen dichas normas, procedimientos y especificaciones de Materia prima, Métodos, Maquinaria y equipo, Medio ambiente, Mercado, Medición y Mano de Obra.

ATENTAMENTE

Carlos González González  
ASQC Fellow

# Introducción

## LOS MUNDOS DE LA EXPERIENCIA Y LA METROLOGÍA

### Experimento y medición

La experiencia humana es muy variada; constantemente vemos, oímos, olemos, probamos y tocamos objetos y productos, es decir, hay un constante flujo de sensaciones. El trabajo de la metrología es describir en forma ordenada esta experiencia, un trabajo que la curiosidad del hombre ha conducido por muchos siglos y que presumiblemente nunca terminará, por fortuna. El metrologo ha seleccionado como campo de estudio una porción especial de la gran variedad de experiencias humanas; de la totalidad ha abstraído ciertos aspectos que le parecen susceptibles de describir con exactitud. Al principio el metrologo se contentó con adquirir esta experiencia en forma pasiva para describir tanto lo que veía, oía, etcétera, como la forma en que estas sensaciones llegaban a él. En tiempos más recientes ha decidido tomar un papel activo en la adquisición del conocimiento o por medio de la experimentación. En este caso, con sus descripciones, el metrologo construye un nuevo mundo, un mundo propio e integrado a su compañía, institución, comunidad, estado, nación, tanto en el ámbito internacional como en el global. El mundo que está poblado por las creaciones y trabajos de la imaginación e ingenio del metrologo es el de las unidades, sistemas de unidades, trazabilidad, patrones, normas, métodos, sistemas de certificación, especificaciones, etcétera. El lector debe distinguir entre este mundo y aquel de la simple y pura experiencia.

El metrologo construye estos sentidos y percepciones mentales entre los grandes grupos de fenómenos. En resumen, un experimento es controlado en cuanto a la percepción sensora que se tiene de él. Tres elementos lo caracterizan. En primer lugar, en el desarrollo de un experimento el investigador abstrae deliberadamente de la experiencia total una pequeña porción para estudiarla en forma intensiva. Por ejemplo, de los fenómenos asociados con el concepto de calor, el experimentador puede elegir investigar aquel que concierne a la relación entre el calentamiento y el tamaño de un objeto. En segundo lugar, el experimentador tiene ciertas ideas acerca del procedimiento y el resultado que él puede esperar. (Claro que él debe tener la mente suficientemente abierta y pensar que puede obtener un resultado específico.)

En tercer lugar, el investigador realiza una serie de operaciones manuales para lograr su objetivo. Él sigue activamente la naturaleza con sus cuestionamientos.

Como fue descrito anteriormente, un experimento en esencia no había tenido nada, o muy poco, acerca de la cuantificación. Por muchos siglos, sin embargo, el hombre ha sentido la urgencia de describir sus experimentos en términos numéricos, en otras palabras, hacer mediciones.

En la actualidad, un experimento físico que no involucre medición es considerado poco valioso. El metrologo experimentador siente que él realmente no entiende cómo avanzan las cosas si la pregunta ¿cuánto?, no tiene respuesta. En cada laboratorio, taller, línea de producción, y casi dondequiera, es posible encontrar aparatos o dispositivos con escalas, éstas con marcas y con números asociados a cada hecho relacionado con la metrología.

Es un hecho que cada lector pensará en la medición física que le es más familiar, por ejemplo: consultar el reloj de pulsera; al hacerlo reconocerá en cada análisis la medición, leerá la hora desde la carátula con la posición de las agujas. Piense que esto sucede en los medidores eléctricos, reglas, medidores de corriente, voltaje y potencia, en los termómetros, rugosímetros, micrómetros, calibradores, medidores de presión, etcétera.

### **Simbolismo en metrología. ¿Qué es una ley metrológica?**

Un símbolo es la representación de un estado mental, ya sea puramente conceptual o emocional. Es difícil imaginar lo compleja que sería la vida sin el uso de símbolos. La mera existencia de las palabras que ahora leemos es un ejemplo de uno de los simbolismos más significantes. ¡Qué poder tienen estas pequeñas marcas sobre el papel que conmueven a los hombres y las naciones!

La metrología es la descripción de una parte de la experiencia humana por medio del lenguaje y la escritura. Aparte de la gran cantidad de escritura que se requeriría para exponer el resultado de los experimentos, parecería innecesaria y difícil la descripción de la medición, la cual, como se ha visto, es el tipo más importante de experimento metrológico. Ante tal situación, los experimentos metrológicos simplemente son descritos en términos de números, los cuales también son representados por símbolos cuya manipulación han simplificado los matemáticos.

Pero el simbolismo metrológico rebasa el uso de números de la aritmética. Esto puede probarse con una simple medición física, tal como el estiramiento de un alambre del cual pende un peso. La medición de la longitud del alambre por medio de un metro u otra escala, antes y después de que una particular carga haya sido colocada, se denomina la evaluación del cambio en medición o el alargamiento o elongación del alambre. Este hecho también puede denominarse la asignación de un número al símbolo por el cual se representa el alargamiento. Asimismo, en la operación de medición del peso colocado en un extremo del alambre se le asigna un número al símbolo  $p$ , el cual designa el peso. Entonces, cualquier relación encontrada entre la lista de ambos números relacionados por una constante  $C$  quedan simbolizados por la expresión algebraica:

$$X = Cp \quad (1)$$

que nos dice que  $X$  es directamente proporcional a  $p$ .

Esta simple representación de un experimento de medición llevado a cabo una vez con un simple espécimen de alambre no tiene una significancia trascendente. Cuando el experimento se repite con otros especímenes, en otros lugares y bajo la misma forma (seguramente con diferentes valores de  $C$ ), con seguridad se encontrará una rutina de experiencias simbólicamente representada por (1), esto es conocido como ley física o ley metrológica.

En metrología o en física no debe confundirse el uso de la palabra ley con su significado en la conversación diaria. Nosotros hablamos de toda clase de leyes, desde leyes divinas hasta normas legislativas.

Es esencial notar que una ley física o metrológica sólo es la descripción fundamental, preferiblemente en forma simbólica algebraica, de una rutina de experiencia física. En particular debemos tener cuidado de no asociarla con la idea filosófica de necesidad, esto es, la noción de que la ley física representa algo es solamente eso, porque la naturaleza está hecha en esa forma. Por lo tanto una ley física describe, desde la mejor percepción, cómo la naturaleza parece ser. Las leyes físicas las elaboran los seres humanos, por lo que ésta es una construcción humana y con frecuencia presentan errores.

El lector de este libro encontrará en las siguientes páginas muchas leyes metrológicas y físicas. También puede tener la certeza de que dichas leyes tendrán la misma naturaleza lógica que hemos discutido; además, debe aprender a verlas como un medio útil para intentar contestar la pregunta: ¿Cómo pasan las cosas, eventos o fenómenos? En cada caso debe notarse que la respuesta, aun expresada en palabras, puede representarse más compactamente por símbolos que pueden manipularse por todos los recursos de las matemáticas. Nótese también que en ningún caso la ley pretende explicar por qué un hecho sucede de determinada manera. Cualquier intento por discutir esta cuestión conduce a la filosofía y, al mismo tiempo, fuera del campo de la metrología o de la física.

Otra noción común con la cual el concepto de ley física o metrológica tiene muy poca relación es la de la causa y el efecto.

Comúnmente se asegura que el peso que pende de un alambre causa la elongación de éste. Esto expresado en forma verbal puede satisfacer, pero no tiene tanta significancia real como la relación expuesta en (1).

La ecuación (1) sólo estipula una relación  $x$  y  $p$  y no señala con certeza cuál es la causa y cuál es el efecto. Claro, en la ciencia hay un principio de casuística, la cual está cercanamente unida con la posibilidad de la existencia de leyes metrológicas o físicas.

Conforme se vaya avanzando en el presente libro, la metrología sólo será una colección de leyes físicas aplicables a los fenómenos de varios campos; el trabajo del metrólogo es el de concebir su aplicación metódica.

### **La naturaleza de una metrología teórica**

El metrólogo (cualquiera que realice actividades de metrología es metrólogo), tiene ciertos datos que han sido obtenidos por medio de la observación de los eventos o fenómenos siguiendo las leyes metrológicas tal como se discutió

previamente. Entonces imagina situaciones hipotéticas que lo conducirán a un razonamiento puramente lógico de una ley experimental. Tanto como sea posible, estas situaciones hipotéticas deben seleccionarse por su simplicidad y familiaridad. Esto quizá pueda comprenderse mejor con el análisis de una situación. Hay ciertas leyes que describen el comportamiento de los gases. Estas leyes son expresadas en términos definidos como volumen, presión y temperatura; estas características son definidas en función del comportamiento del gas como un todo, sin ninguna consideración acerca de su posible estructura. Sin embargo, supongamos que el gas tiene realmente una estructura que está compuesta por un número muy grande de pequeñísimas partículas llamadas moléculas, cuyo movimiento ocurre a no muy grandes pero sí variadas velocidades en todas direcciones. Ésta es una descripción hipotética acerca de los gases. ¿Qué hacemos con ella?

Puede asumirse que el movimiento de las moléculas lo describen los principios de la mecánica. Podría ser relativamente simple traducir esta hipótesis al lenguaje matemático y derivar las relaciones entre la presión, volumen y temperatura de un gas. Estas relaciones derivadas conducen al descubrimiento experimental de la ley de los gases.

La continua fertilización de los experimentos con la teoría y la verificación de ésta con la experimentación ha marcado el desarrollo de la metrología.

Recapitulando, cada teoría física y metrológica parte, usual e intuitivamente, con o desde los más primitivos conceptos, como espacio y tiempo, y a partir de éstos construye conceptos más exactos, por ejemplo velocidad, aceleración. El próximo paso es establecer ciertas hipótesis, las cuales usualmente se expresan por medio de relaciones matemáticas, conectando los símbolos y representando los conceptos usados. El paso final es la derivación, por análisis matemático, de las relaciones simbólicas, las cuales se espera que sean idénticas a las que señalan las leyes experimentales. Aun si el lector ha estudiado metrología, habrá oído un poco acerca de las teorías de la física.

Es esencial comprender que los principios fundamentales de cualquier teoría física o metrológica sólo son postulados o hipótesis acerca de hechos observados. Desde este punto de vista, es válido preguntarse respecto a su veracidad o falsedad. Es mejor hablar acerca de estas características en términos de éxito o fracaso. ¿Cuándo es exitosa una teoría metrológica? Cuando es capaz de predecir leyes que actualmente pueden comprobarse; es mejor aun cuando predice algo que nadie ha observado aún y su predicción es verificada.

Hay un punto más acerca de la construcción de teorías metrológicas: es necesario tener exactitud en la definición y uso de conceptos. Para usarse en metrología, un concepto debe tener un significado definido, y sólo un significado.

Nuestra civilización está basada tan ampliamente en el uso de la maquinaria y la tecnología en general, que puede parecer absurdo e innecesario extenderse en todas las aplicaciones prácticas de la metrología. El hecho infortunado, sin embargo, es que la persona promedio no siempre vincula los avances tecnológicos con la metrología. Cuando establece esta conexión, dicha persona está más en la ingeniería y olvida que atrás del ingeniero siempre está la ciencia pura: la física y la metrología.

En las siguientes secciones hemos tendido a hacer hincapié en que los métodos fundamentales de la metrología son una ciencia, una rama del conocimiento natural. Este hecho no nos cegará respecto al valor de sus aplicaciones.

Es cierto que en el pasado muchos avances de ingeniería los produjeron inventores que se apoyaron en principios metrológicos. En nuestros días, el progreso tecnológico va de la mano con el desarrollo de la física y la metrología puras, en los laboratorios de investigación de grandes instituciones y corporaciones.

La principal finalidad de cualquier libro de metrología es clarificar y hacer entendibles las ideas propias de la disciplina, sin embargo, en las siguientes páginas también explicaremos las aplicaciones prácticas a que conducen las importantes ideas de la metrología.



## Bosquejo histórico

No cometáis injusticia en los juicios, ni en las medidas de longitud, de peso o de capacidad: tened balanza justa, medida justa y sextario justo.

*Levítico 19,35-36.*

Desde la aparición del ser humano sobre la Tierra surgió la necesidad de contar y medir. No es posible saber cuándo surgen las unidades para contar y medir, pero la necesidad de hacerlo aporta ingredientes básicos que requiere la metrología, como mínimo, para desarrollar su actividad fundamental como ciencia que estudia los sistemas de unidades, los métodos, las normas y los instrumentos para medir.

No queremos polemizar acerca de si los conceptos bíblicos, budistas, mahometanos o la evolución de las especies de Charles Darwin tienen la razón, lo que sí es evidente y está por escrito en diferentes libros que las describen y relacionan con nuestros días —es el uso de unidades e instrumentos utilizados desde hace 6000 o 7000 años.

Como ejemplo podemos referirnos al Antiguo Testamento de la Biblia, donde se dice:

Hazte un arca de maderas resinosas. Haces el arca de carrizo y la calafateas por dentro y por fuera con betún. Así es como lo harás: longitud del arca, trescientos codos, su anchura cincuenta codos, y su altura treinta codos. Hacer al arca una cubierta y a un codo la rematarás por encima, pones la puerta del arca en su costado y haces un primer piso, un segundo y un tercero.

*Génesis, 6-14;16.*

Abraham se dirigió presuroso a la tienda, a donde Sara, y le dijo: «Apresta tres arrobas de harina de sémola, amasa y haz unas tortas.»

*Génesis, 18-6.*

Respondió Efrón a Abraham: «Señor mío escúchame: Cuatrocientos siclos de plata por un terreno, ¿qué nos suponen a ti y a mí? Sepulta a tu muerta.» Abraham accedió y pesó a Efrón la plata que éste había pedido a oídas de los hijos de Het: cuatrocientos siclos de plata corriente de mercader.

*Génesis, 23, 14-15.*

Compró a los hijos de Jamor, padre de Siquem por cien agnos la parcela de campo donde había desplegado su tienda.

*Génesis, 33, 19.*



En el Éxodo se puede leer:

Éste es el pan que Yahveh os da por alimento.

He aquí lo que manda Yahveh: Que cada uno recoja cuanto necesite para comer, un gomor por cabeza, según el número de los miembros de vuestra familia; cada uno recogerá para la gente de su tienda.»

Éxodo, 16, 16-17.

y con el primer cordero, una décima de medida de flor de harina amasada con un cuarto de sextario de aceite de oliva molida, y como libación un cuarto de sextario de vino.

Éxodo, 29, 40.

Esto es lo que ha de dar cada uno de los comprendidos en el censo: medio siclo, en siclos del Santuario. Este siclo de veinte óbolos. El tributo reservado a Yahveh es medio siclo.

Éxodo, 30, 13.

La plata de los incluidos en el censo de la comunidad, cien talentos y mil setecientos setenta y cinco siclos, en siclos de santuario.

Éxodo, 38, 25.

En el Levítico viene la cita más antigua respecto a la metrología y su concepto de referencia a un patrón o trazabilidad y honestidad, “oigamos esto, metrólogos”.

No cometáis injusticia en los juicios, ni en las medidas de longitud, de peso o de capacidad: tened balanza justa, peso justo, medida justa y sextario justo. Yo soy Yahveh vuestro Dios, que os saqué del país de Egipto.

Levítico 19, 35-36.

junto con su oblación de dos décimas de flor de harina amasada con aceite, como manjar abrasado de calmante aroma para Yahveh. Su libación de vino será un cuarto de sextario.

Levítico, 23c, 13.

Toda tasación se hará en siclos del santuario, 20 óbolos equivalen a un siclo.

Levítico, 27, 25.

El pueblo se dedicó todo aquel día y toda la noche y todo el día siguiente a capturar las codornices. El que menos, reunió diez modios y los tendieron alrededor del campamento.

Números 11, 32.

Descripción de las medidas enunciadas en los libros y versículos:

*Agno*. Medida monetaria.

*Arroba*. Medida de peso que equivale a 11 1/2 kg.

*Gomor (gomer)*. Medida de capacidad 1/10 de una efa = 3.7 litros.

*Óbolos* (del gr. *óbolos*, moneda de escaso valor). Peso antiguo (0.6 gramos) = moneda antigua (14 céntimos). Donación, donativo.

*Siclo*. Moneda de plata usada en Israel. Unidad de peso que utilizaban los babilonios, los fenicios y los judíos.

*Talento*. Cierta moneda de oro, raíz de la parábola evangélica de los servidores que sacaron fruto de los talentos o suma de dinero confiadas por su amo.

A continuación se mencionan tablas de peso y medidas del Antiguo y Nuevo Testamento.

## TABLA DE PESOS Y MEDIDAS

La siguiente tabla incluye solamente los términos más comunes mencionados en la Biblia. Los equivalentes son aproximaciones generales, ya que los patrones no fueron siempre los mismos en todas partes ni durante largos periodos.

### *En el Antiguo Testamento*

#### Pesos y monedas

gera .....	1/20 del siclo .....	0.57 gramos de plata
siclo .....	la unidad básica .....	11.4 gramos de plata
libra de plata .....	50 siclos .....	570 gramos de plata
talento .....		como 34 kilogramos

#### Medidas lineales

palmo menor .....	ancho de la mano .....	7.5 centímetros
palmo* .....	la unidad básica .....	22.5 centímetros
codo* .....	del codo a la punta de los dedos .....	45 centímetros
caña .....		cerca de 3 metros

#### Medidas de capacidad

##### a) para áridos

gomer .....	1/10 de un efa .....	3.7 litros
seah .....	1/3 de un efa .....	12.3 litros
efa .....	la unidad básica .....	37 litros
homer .....	10 efas .....	370 litros

\*En el libro de Ezequiel, el palmo es de 26 centímetros y el codo es de 52 centímetros.

## b) para líquidos

log .....	1/12 de un hin .....	0.5 litro
hin .....	1/6 de un bato .....	6.2 litros
bato .....	igual al efa .....	37 litros
coro .....	10 batos .....	370 litros

## Tiempo

*vigilia.* Los hebreros tenían tres vigiliass nocturnas de aproximadamente igual duración.

## En el Nuevo Testamento

## Pesos y monedas

blanca (del gr. <i>lepton</i> ) ....	1/8 <i>asarion</i>	
cuadrante (del gr. <i>kodrantes</i> ) .....	1/4 <i>asarion</i>	
cuarto (del gr. <i>asarion</i> ) ...	1/16 denario	
denario .....	representaba por lo general el salario diario de un jornalero casi .....	4 gramos de plata
dracma .....	aproximadamente igual al denario .....	3.6 gramos de plata
siclo .....	4 dracmas .....	14.4 gramos de plata
libra de plata .....	100 dracmas .....	360 gramos de plata
talento .....	6000 dracmas .....	21 600 gramos de plata
libra (Jn. 12.3) .....		327.5 gramos

## Medidas lineales

codo .....	45 centímetros	
braza .....	4 codos .....	1.80 metros
estadio .....	400 codos .....	180 metros
milla .....		1480 metros
camino de un día de reposo .....		como 1080 metros

## Medidas de capacidad

almud (del gr. <i>modio</i> ) (Mt. 15; Mr. 4. 21; Lc. 11.33) .....	8.75 litros
---	-------------

medida (del gr. <i>sato</i> )	
(Mt. 13.33; Lc 13.21) .....	13 litros
barruk (del gr. <i>bato</i> )	
Lc. 16.6) .....	37 litros
medida (del gr. <i>koro</i> )	
(Lc. 16.7) .....	370 litros
cántaro (del gr. <i>metretes</i> )	
(Jn. 2.6) .....	40 litros

### Tiempo

- Hora.* El día se contaba desde la salida del Sol hasta la puesta del mismo, y se dividía en doce horas (Jn. 11.9). De igual manera, la noche se dividía en doce horas, las que se contaban desde la puesta del Sol hasta su salida (Hch. 23.23). La duración de las horas variaba de acuerdo con las estaciones del año.
- Vigilia.* Cada una de las cuatro partes en que se dividía la noche. Su duración variaba con las estaciones del año.

## UNIDADES DE LONGITUD EN ÉPOCAS ANTIGUAS

En la historia de la humanidad ha habido dos tipos de sistemas de medidas de longitud, uno en Oriente y otro en Occidente. En Oriente el sistema sino-japonés se originó en las áreas del río Hoang Ho (río Amarillo) y del río Indo. En Occidente, por otra parte, el sistema inglés tuvo su origen en la civilización que se desarrolló a lo largo de los ríos Nilo, Tigris y Éufrates (4000 a.C.)

Como se muestra más adelante, en las épocas antiguas la longitud de diferentes partes del cuerpo humano parece haberse usado como unidad de longitud.

	Medida	Parte del cuerpo
(1)	Pie .....	Pie
(2)	Duim .....	Pulgar
(3)	Dedo .....	Dedo
(4)	Pouse .....	Pulgar

En la época babilónica se usaban las siguientes unidades:

(1)	Milia .....	60 estadios
(2)	estadios .....	60 × 12 codos
(3)	1 cúbito .....	30 dedos

- a) Cúbito significa codo, y es la medida del antebrazo que equivale aproximadamente a 500 mm.
- b) Un estadio es la distancia que cubre un hombre caminando a velocidad normal, desde el momento en que el Sol empieza a salir, hasta el tiempo en que aparece completo en el horizonte (cerca de dos minutos). Un estadio equivale a 185 o 195 metros.

En el Oriente, en la era Oshiki en China (1000 a.C.), el estándar era la longitud de una flauta y se empleaba un sistema decimal para representar las unidades de longitud de la manera siguiente:

- (1) Shaku ..... 10 suns
  - (2) Sun ..... 10 minutos
- Longitud de la flauta = 90 minutos

La metrología ha estado presente en los ventos más significativos relacionados con las ciencias y la técnica, inclusive en aquellos de tipo económico y de mercado, es decir, para realizar las actividades comerciales es necesario contar y medir basándose por completo en la metrología.

La raíz de las ciencias fueron las necesidades del hombre y su curiosidad por el mundo que lo rodea. Nadie sabe cuándo apareció la curiosidad humana. En diferentes culturas surgió, hace 3000 o 4000 años, la necesidad de medir la tierra, lo que condujo al uso y desarrollo de la geometría; el interés por las estrellas condujo al hombre, por medio de la astrología, a la astronomía y, por supuesto, al uso y control del tiempo mediante la calendarización. En aquellos tiempos se realizaba la observación e incluso la predicción de eclipses. Cada año las investigaciones arqueológicas descubren nuevas evidencias de las actividades intelectuales de las culturas que florecieron en los valles del Nilo, Éufrates, Hoang-Ho, etcétera. Debemos notar que la curiosidad de estas culturas era relativamente pasiva, ya que había observación plena pero no experimentos.

Los antiguos filósofos griegos, reconocidos como los primeros "científicos", están clasificados en las llamadas "escuelas". Así, la escuela Jónica incluye a Tales de Mileto (600 a.C.), quien fue uno de los primeros en describir el universo en términos de los llamados "principios" de las sustancias fundamentales. Tales pensó que todos los fenómenos eran manifestaciones de un simple elemento: el agua. Otros miembros de esta escuela introdujeron el fuego, la tierra y el aire como sustancias fundamentales y propusieron teorías más flexibles; además, defendían la constitución de las sustancias como continuas o discretas. Aquellos que mantuvieron esta última posición fueron conocidos como atomistas. El primero, y uno de los más distinguidos entre ellos fue Demócrito (465 a.C.), quien marcó el inicio de la teoría atómica.

### Demócrito (460-370 a.C.)

Lo que se sabe de la vida de este filósofo son unos cuantos datos —suministrados por Diógenes Laercio—, mientras que de sus escritos apenas se conservan algunos fragmentos: A pesar de ello, Demócrito ocupa un lugar muy importante en la historia de la filosofía ya que es considerado el creador del primer sistema filosófico integral. Junto con Platón y Aristóteles, Demócrito es uno de los filósofos más importantes de la antigüedad; enseñaba que todo ser real consta de un número infinito de partículas indivisibles e imperceptiblemente pequeñas a las que llamó átomos. La variedad de formas atómicas corresponde a la diversidad de cualidades materiales; los átomos más finos son los que constituyen la sustancia del alma. Explicó el conocimiento —del cual formaban parte las sensaciones— como el resultado de la impresión causada en los átomos del espíritu por los que emanaban de los objetos. Al reducirlo todo a los átomos y su movimiento, Demócrito creó un sistema materialista válido para todos los tiempos.

Demócrito nació en Abdera Tracia. Tuvo por maestro a Leucipo de Mileto, quien ya había concebido la teoría de los átomos, aunque de manera incompleta. Poseído por un enorme afán de conocimiento, realizó numerosos y largos viajes por Oriente. Parece que residió algún tiempo en Atenas, pero no se relacionó con las escuelas filosóficas que existían en aquella ciudad, circunstancia que explica el hecho de que fuese relativamente ignorado, si bien Aristóteles lo menciona elogiosamente en uno de sus escritos. Según Diógenes Laercio, Demócrito también recibió las enseñanzas de magos caldeos y astrólogos persas. En sus máximas refleja una preocupación especial por la ética; su sistema moral busca la felicidad, entendida no como la posesión de riquezas, sino como un estado de tranquilidad y de buena disposición de ánimo. Para llegar a tal estado hace falta evitar los extremos: tener muy poco o tener demasiado son igualmente perniciosos.

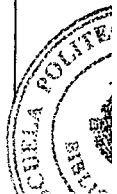
Otra escuela griega de filósofos científicos fue la pitagórica, que debe su nombre a su fundador: Pitágoras.

### Pitágoras (582-497 a.C.)

Incluido entre los siete sabios de Grecia. Pitágoras ejemplifica con su legado filosófico y científico el gran auge intelectual del mundo griego. Aun cuando hay lagunas y falta información precisa, el carácter de sus ideas, la originalidad de su pensamiento e incluso las manifestaciones de sus seguidores justifican la complejidad que significa deslindar con precisión su vida.

Pitágoras fue originario de la isla de Samos; su nacimiento se ha situado aproximadamente hacia el 582 a.C. y su muerte en el 497 a.C. en Metaponto, al sur de Italia. Jonio de nacimiento, su padre

era el comerciante Mnesarnico, quien se dedicaba al tráfico entre diferentes puertos del Mediterráneo, Sicilia, Grecia y Egipto. Pitágoras acompañó a su padre en algunos de estos viajes. Recibió su enseñanza musical de Hermodamas, y su educación filosófica de Ferécides en Lesbos y de Tales y Anaximandro en Mileto. Se afirma que Pitágoras realizó larguísima viajes por Egipto y Oriente, donde se inició en diferentes misterios. Fue admitido a las ceremonias de los cultos orientales y formó parte del Colegio Sacerdotal de Tebas en Babilonia. Se inició en la religión de los magos,



fundó su academia en Cretona Italia, aproximadamente en 532 a.C., e inició una secta ascética y mística sustentada fuertemente en el retiro, secta que significó una ruptura con el racionalismo tradicional de Grecia. A su escuela asistían jóvenes y ancianos, mujeres y niños. En lo político se identificó con el partido aristocrático; dicho partido triunfó en diversas contiendas civiles, lo cual trajo a los pitagóricos grandes honores y reconocimientos; más tarde, sin embargo, el grupo democrático alcanzó una gran importancia en toda Grecia, lo que causó una seria división en la escuela Pitagórica. Más tarde, la secta empezó a ser perseguida, incluso el mismo Pitágoras fue exiliado en Cretona diez años antes de su muerte. El carácter secreto de los pitagóricos originó a su alrededor un gran silencio y una gran dificultad para conocer sus ideas y poder dilucidar —con precisión a quién o a quiénes correspondían las ideas, aportes o descubrimientos de este grupo que, al proponer cualquier teoría, citaba la autoridad de su maestro. Los

seguidores de esta secta tuvieron gran afición e interés por las matemáticas y por la astronomía. Quizá la aportación más importante de este sabio griego fue su estudio del sonido.

El estudio del sonido hizo pensar a Pitágoras que todo el universo estaba apoyado en los números y en sus relaciones, como la proporción que afirma que el cuadrado de la longitud de la hipotenusa de un triángulo recto es igual a la suma de los cuadrados de las longitudes de los catetos, llamado "Teorema de Pitágoras". Este filósofo griego afirmó que la Tierra era esférica, señaló que el Sol, la Luna y otros planetas no participaban del movimiento uniforme de las estrellas y que cada uno tenía su propia ruta. La escuela de Pitágoras influyó enormemente en el pensamiento griego y en el medieval.

Su interés y esfuerzo principales los puso en los números para intentar comprender la naturaleza.

De los tres grandes filósofos de Atenas, Sócrates, Platón y Aristóteles, este último es considerado el más importante en la historia de la física, aun cuando Platón y sus teorías también han influido mucho. Aristóteles fue un gran observador de los fenómenos naturales y, aunque no siempre los observó exactamente, él colectó y organizó sus observaciones en forma documental; escribió el primer "libro de texto" de física, incluyendo algunas citas metrológicas, lo que sucedió en el año 400 a.C.

### Sócrates (469-399 a.C.)

Nació en Atenas. Su padre, Sofronisco, era escultor y su madre, Fenareta, desempeñaba el oficio de partera. Se sabe que con su primera esposa, Jantipa, tuvo un hijo llamado Lamprocles. Hay referencia de un segundo matrimonio con la hija de Aristides, Myrtha y que tuvo dos hijos. En cuanto a su formación, parece haber frecuentado a algunos sofistas como Protágoras, Hipias, Polo y Pródico

de Keos, al cosmólogo Arquelaos y al jurista Trasímaco. Sus amplios estudios muestran familiaridad con la música, geometría, retórica y astronomía, en suma, la educación propia de la época en Atenas.

Sin embargo, Sócrates no fue un intelectual o un erudito; llamó pronto la atención de sus conciudadanos por la agudeza de sus razonamientos y

su facilidad de palabra, no al modo de los grandes oradores ni con la suficiencia de aquellos sofistas que gustaban de mostrar el variado repertorio de sus paradojas, sino a través de una fina ironía.

El mayor mérito de este personaje fue haber creado la mayéutica, método inductivo que le permitía llevar a sus alumnos a la resolución de los problemas que se les planteaban mediante hábiles preguntas, cuya lógica iluminaba el entendimiento.

También les inculcó a sus discípulos, entre ellos Platón, la dialéctica, la cual fue definida como el arte del diálogo o de la disputa y, por derivación, el arte de demostrar una tesis mediante la selección y clasificación de conceptos y la rigurosa

distinción entre ellos valiéndose de las leyes de la lógica.

Según Sócrates, una vida sin investigación no es digna de vivirse, pero el fin único de la investigación es el hombre y no tiene objeto indagar en la naturaleza. No es posible realizar el bien sin conocerlo, pero la virtud puede enseñarse y aprenderse. No existe mejor método de enseñanza que la pretensión de no enseñar nada y limitarse a favorecer la propia actividad intelectual de los interlocutores. Aun cuando no escribió un solo libro ni estructuró un sistema de pensamiento, fue el griego más notable de su época; quizá el único que vivió y murió conforme a su filosofía.

### Platón (427-347 a.C.)

Se admite como la fecha más probable de su nacimiento el año 427 y no hay duda sobre su origen ateniense, en el seno de una familia aristocrática. Según parece, su padre, Aristón, descendía de los últimos reyes de Atenas. Su madre Perictione era hermana de Carmides y sobrina de Critias, ambos personajes destacados en el gobierno oligárquico de Atenas. Entre sus ascendientes se encontraba Solón, uno de los siete sabios de la Grecia antigua.

En cuanto a sus estudios iniciales de filosofía, es probable que antes de conocer a Sócrates tuviera acceso a la doctrina de Heráclito. El acontecimiento capital en la vida de Platón fue su encuentro con Sócrates, hacia 407, cuando tenía 20 años de edad. Debe recordarse que Sócrates no dejó escri-

to alguno, por lo que sus enseñanzas se conocen a través de los *Diálogos* de Platón. Sin embargo, resulta imposible determinar hasta qué grado el discípulo reprodujo con fidelidad el pensamiento de su preceptor; lo cierto es que manifiesta un gran respeto y admiración por él.

Platón fundó la Academia —primera escuela de la antigüedad organizada como un auténtico centro de estudios universitarios— en un lugar propiedad de Academo, de ahí que se llamara “la Academia”. El método de enseñanza era el diálogo conforme a las preferencias de Platón por un aprendizaje vital, sin discusiones dirigidas entre los alumnos, métodos pedagógicos que aún perduran.

### Aristóteles (384-322 a.C.)

Aristóteles, filósofo que llevó el pensamiento griego a su plena madurez, es considerado uno de los genios más grandes que haya conocido la humanidad. En mayor medida que ningún otro pensador,

fijó los caminos que habría de recorrer la filosofía, prueba de ello es que se le reconoce como el fundador de varias disciplinas: lógica, metafísica, psicología, historia natural, ética, poética y política.



Si la filosofía constituye una reflexión totalizadora en cuanto a las causas últimas de todas las cosas, el pensamiento aristotélico representa un esfuerzo extraordinario, quizá sólo comparable al realizado por su maestro Platón.

Aristóteles no era un griego puro, sino más bien un macedonio nacido en Estagira, pequeña ciudad localizada en la península Calcídica, cerca del actual monte Athos. El padre de Aristóteles, Nicómaco, era médico e instruyó a su hijo en los conocimientos naturales que fundamentan la ciencia de la medicina, circunstancia que explicaría el interés del filósofo por las investigaciones físicas y biológicas. A los 18 años de edad, Aristóteles se trasladó a Atenas para completar sus estudios. En dicha ciudad ingresó en la Academia que dirigía

Platón, y se distinguió rápidamente por su interés e inteligencia. Aristóteles permaneció en la Academia durante 20 años, es decir, hasta la muerte de Platón, hecho que desmiente la supuesta rivalidad entre el maestro y su discípulo.

Las discusiones que pudo tener con Platón sólo reflejarían su independencia intelectual, ya que jamás enturbiaron la amistad de ambos, y si más adelante Aristóteles sometió a rigurosa crítica algunas de las tesis platónicas, el distanciamiento doctrinal no menguó su admiración por el ilustre fundador de la Academia. Quizá la frase "Soy amigo de Platón, pero lo soy más de la verdad", explica mucho mejor su independencia de pensamiento.

La última de las grandes escuelas de filósofos de la antigüedad la fundó un griego en Alejandría, Egipto. Euclides, en el año 300 a.C. desarrolló ahí la geometría de tan excelente manera que sus ideas estuvieron vigentes durante 2000 años: A la escuela de Alejandría pertenece el primer físico moderno, Arquímedes, quien vivió alrededor del 250 a.C. y cuando se oye su nombre inmediatamente se piensa en el principio de la palanca y en las leyes de la electrostática. La astronomía alcanza un alto desarrollo en el gran tratado astronómico de Claudio Ptolomeo, también distinguido alejandrino que inicia la teoría geocéntrica que no es desmentida sino hasta el siglo XV por Copérnico. Por un largo tiempo, la ciencia y su trabajo los desarrollaron los griegos y romanos y tribus teutónicas que fundan la civilización occidental sobre las ruinas de Grecia y Roma.

### Euclides (330-275 a.C.)

Según los historiadores árabes, este matemático griego, conocido como Euclides el Geómetra, era natural de Tiro, hijo de Naucerate y nieto de Zenarca. Se desconoce la fecha de su nacimiento.

Euclides vivió en Damasco y Alejandría; su mayor renombre lo alcanza hacia el año 300 a.C. Él y otros científicos desplazan la hegemonía científica de Atenas a Alejandría, la cual quedó convertida en la capital intelectual del mundo. Ahí se fundó

una famosísima biblioteca y una renombrada universidad que era conocida como el Museo, pues era una especie de templo donde se rendía culto a las musas protectoras de las ciencias y las artes.

Precisamente en este ambiente se desarrolló Euclides. Enseñaba matemáticas en Alejandría, donde fundó la escuela más célebre de la antigüedad. Parece ser que Ptolomeo I, rey de Alejandría, pidió a Euclides que trabajara en el resumen de las obras de los geómetras más importantes.

Quizá la importancia de Euclides no radica tanto en sus propias investigaciones, pues pocos de los teoremas son suyos, sino que su labor —importante de cualquier forma— fue recoger todo el conocimiento matemático que existía desde la época de Tales y reunir en su famoso libro *Elementos de geometría* más de dos siglos de sabiduría matemática. Este libro fue el gran texto de geometría, y continúa siendo, sólo con algunas modificaciones, un texto de geometría

clásica. En él, Euclides recopiló una serie de axiomas y postulados expresados con gran rigor, sencillez y claridad. El libro tiene un orden tan sistemático y una exposición de teoremas tan lógica que ha sido imposible superar.

Los grandes tratados de Euclides se ocupan esencialmente de geometría, sin embargo, también trabajó problemas de razones y proporciones y de teoría numérica.

Si la ciencia permaneció viva durante aquellas épocas fue debido a los árabes.

### Arquímedes (287 a.C.-212 a.C.)

Este matemático, científico e inventor griego nació en Siracusa, Sicilia. Realizó sus estudios en Alejandría, y al concluirlos regresó a su ciudad natal. Se afirma que tenía vínculos familiares con Herón II, rey de Siracusa. Una vez, por encargo del rey Herón, debía comprobar si la corona de éste era de oro puro, sin dañarla. Un día observó, al bañarse, que el agua se desbordaba al sumergir su cuerpo. En consecuencia, si sumergía la corona dentro del agua podría saber, por el cambio del nivel del agua, el volumen de la corona, y así comparar éste con el volumen de un mismo peso de oro. Si los dos volúmenes desplazados eran iguales, la corona estaría elaborada exclusivamente con oro puro.

Otra aportación de este científico es el principio de la palanca. Con esta investigación se adelantó más de doscientos años a sus contemporáneos. Al estudiar sistemáticamente aplicaciones de medidas, de pesos y longitudes, Arquímedes demostró que una pequeña fuerza aplicada a gran distancia del punto de apoyo de la palanca levanta un gran peso colocado cerca de dicho punto. A él se le atribuye la frase: "Dadme un punto de apoyo y moveré al mundo."

Entre sus cuarenta inventos mecánicos destacan la rueda dentada y el tornillo sin fin. De sus diferentes libros se han conservado los siguientes:

Libro primero: *Sobre la esfera y el cilindro*, en él explica y calcula la superficie de la esfera, el área de un segmento esférico, la relación entre el volumen de un cono y un cilindro, y entre un prisma y una pirámide.

Libro segundo: *Sobre la medida del círculo*, inscribiendo y circunscribiendo dos polígonos de 96 lados y calculando sus longitudes, en este libro Arquímedes encuentra el valor aproximado de  $\pi$ .

Libro tercero: *sobre conoides y esferoides*.

Libro cuarto: *Sobre el equilibrio de los planos*.

Libro sexto: *Sobre la cuadratura de la parábola*.

Libro séptimo: *El arenario*, donde este científico se propone hallar un sistema de símbolos que le permitan expresar el número de granos de arena de la "esfera celeste".

Libro octavo: *Sobre los cuerpos flotantes*.

Arquímedes fundó e hizo aportes extraordinarios a la ciencia de la mecánica y desarrolló la noción de centro de gravedad. Sus obras, traducidas al latín en 1544, influyeron en forma significativa a Stevin y Galileo en sus respectivas investigaciones.

### Ptolomeo, Claudius Ptolomaeus (90-168 d.C.)

Ptolomeo es uno de los astrónomos más importantes de la antigüedad; su obra de recopilación científica es famosa fundamentalmente porque incluye la concepción ptolomeica del Universo. Astrónomo, matemático y geógrafo se discute el lugar y el año de su nacimiento; algunos autores afirman su origen egipcio o griego. La mayor parte de su vida la pasó en Alejandría.

Según afirman los historiadores, Claudio Ptolomeo asistía asiduamente a la biblioteca y museo de Alejandría para leer los antiguos textos de astrónomos, matemáticos y lógicos. Al estudiar las diferentes teorías, y en ocasiones contradictorias de los astrónomos, llegó a la conclusión de que las matemáticas y la lógica serían elementos esencia-

les para entender la estructura del Universo. En el campo de la astronomía preparó una trigonometría tan avanzada que fue utilizada durante el medievo. Sus conocimientos trigonométricos y astronómicos están reunidos en su obra más importante: *Megale Syntaxis o Constructio Mathematica*, constituida por trece libros. Los conocimientos ópticos que adquirió los recopiló precisamente en cinco libros conocidos como *Óptica*.

Otros trabajos de Ptolomeo fueron verdaderos tratados sobre geometría, mecánica y estática; también estudió detalladamente la teoría de los cuatro elementos.

En la península itálica el fin del periodo medieval lo marcó la aparición de genios de la talla de Leonardo da Vinci —arquitecto, artista, constructor, ingeniero, matemático—, quien logró un balance perfecto entre lo puro y lo aplicado.

### Leonardo da Vinci (1452-1519)

Pintor, escultor, arquitecto, ingeniero, científico, e inventor, Leonardo sintetizó el espíritu abierto, artístico y humanista del Renacimiento. Muchos lo han considerado el pintor más grande de la historia, y ciertamente es el más popular, aún más que Miguel Ángel. Otros lo han visto como paradigma de la perfección intelectual y artística y de la versatilidad a la cual debe aspirar el género humano.

Leonardo fue hijo ilegítimo de un notario florentino, ser Piero, y de una campesina. Nació en Anchiano, cerca de Vinci, en las cercanías de Florencia. Creció en la casa de su padre donde, debido a la falta de hijos legítimos, recibió cariño y atención inusitados para un hijo natural. Aprendió de pequeño los rudimentos de la lectura, la escritura y la aritmética, pero pronto dio muestras de un descomunal talento para el arte. A los 17 años ingresó como aprendiz al taller del pintor y escultor Andrea de Cione, llamado el Verrocchio, en Floren-

cia. Allí, en el cercano taller de Antonio Pollaiuolo, recibió instrucción no sólo en la pintura y la escultura, sino en actividades mecánicas y técnicas y en anatomía.

A la edad de 20 años pasó a formar parte del gremio de pintores de la ciudad, pese a lo cual continuó su instrucción cinco años más. Estudió con detenimiento plantas y animales, y aprendió a introducirlos en sus pinturas. Perfeccionó su conocimiento de la perspectiva y del uso del color.

En 1471 estableció un estudio independiente en Florencia; en esa primera etapa creó pinturas y dibujos tales como *La Anunciación*, *La madonna del clavel*, *La adoración de los magos*, etcétera.

En 1482 partió a Milán, donde fue presentado al duque Ludovico Sforza; permaneció en dicha ciudad durante 17 años, hasta el derrocamiento del conde. Durante ese periodo realizó pocas pinturas, tales como *Dama con armiño*, *La virgen de las rocas* y el mural *La última cena*. En esta última

obra, capital del Renacimiento, Leonardo reconstruyó el episodio evangélico de una manera por completo disímil a la que se había hecho convencional.

El ambiente cultural de la septentrional Lombardía, profundamente diferente al florentino, favoreció las investigaciones de Leonardo tanto en el campo del arte como en el de la ciencia.

Milán cayó en manos francesas a fines de 1499 o principios de 1500, entonces, Leonardo abandonó la ciudad. Fue a Mantua y Venecia, y en 1501 regresa a Florencia, donde realiza trabajos de arquitectura y pintura, *La Virgen y el niño con Santa Ana*. Trabajó posteriormente como ingeniero militar de César Borgia en La Romaña. Ya de regreso en Florencia, ejecuta el retrato de una joven floren-

tina, esposa de un funcionario a quien nunca entregó el encargo; esta obra posteriormente fue conocida como la *Mona Lisa* o *Gioconda*. En 1506 se traslada nuevamente a Lombardía por tiempo limitado.

La restauración de los Sforza en Milán —al menos temporalmente— lo obligó a huir de la ciudad. Se instaló entonces en Roma, bajo la protección de Giuliano Médicis; permaneció aislado, inmerso en sus estudios de matemáticas, óptica, geología y botánica. En 1516, a los sesenta y cinco años de edad, abandonó Italia y se fue a Francia donde, bajo la protección de Francisco I, se le designó primer pintor, arquitecto y mecánico del rey. Murió en Cloux, Francia el 2 de mayo de 1519.

### Nicolás Copérnico (1473-1543)

Copérnico es una de las piedras angulares de la astronomía moderna; su teoría planetaria heliocéntrica constituye una de las mayores innovaciones en esta disciplina. Nació en Torún, Polonia, el 19 de febrero de 1473 y murió en Frauenburg, Alemania, el 24 de mayo de 1543. De padres alemanes, quedó huérfano a los diez años; su tío, noble y obispo, se preocupó por dotar a Copérnico de una óptima educación. En su ciudad natal realizó estudios clásicos —griego y latín—, después, en Cracovia, capital intelectual de Polonia, realizó estudios de matemáticas y dibujo. Hacia 1496 continuó su formación intelectual en Italia, primero en la Universidad de Padua y después en la de Bolonia, sitio donde, durante más de diez años, aprendió medicina, derecho canónico y astronomía.

La gran actividad intelectual de Italia, donde se discutían y cuestionaban los métodos tradiciona-

les, puso en tela de juicio el sistema planetario de Hiparco y Ptolomeo, según el cual el centro del Universo era la Tierra y alrededor de ésta giraban los cuerpos celestes. Esta teoría, ya entonces ofrecía serias complicaciones. La teoría heliocéntrica cambiaba profundamente la concepción del Universo, pues la Tierra, al dejar de ser el centro, pasaba a convertirse, junto con los demás planetas, en un cuerpo celeste que giraba alrededor del Sol. Sin embargo, Copérnico todavía sostenía que las órbitas de los planetas eran circulares, error que corrigió Kepler posteriormente. La Iglesia católica condenó la teoría heliocéntrica en la Congregación del Índice, en 1616, "por contener y dar como verdaderas, ideas sobre la situación y movimiento de la Tierra, enteramente contrarias a la Sagrada Escritura".

### Galileo Galilei (1564-1642)

Introdujo el concepto de experimento controlado. Mientras los trabajos de Aristóteles eran considerados una especie de Biblia científica en la Edad Media, ya que siempre plateaban la pregunta por qué esto o aquello pasa, Galileo realizó una descripción exacta de cómo las cosas toman lugar. Estudió cuidadosamente cómo caen los cuerpos e hizo su descripción más exacta usando el plano inclinado que permite examinar el fenómeno de la gravedad con pequeñas velocidades. Galileo estableció las dos primeras leyes del movimiento y así sentó las bases de la mecánica. También hizo valiosas contribuciones a la astronomía y describió la teoría heliocéntrica del sistema solar.

Notable científico, su método experimental y de observación directa sirvieron de base a la ciencia moderna. Físico y astrónomo, nace en Pisa, Italia, el 15 de febrero de 1564 y muere en Arcetri, cerca de Florencia, el 8 de enero de 1642. Orientado por su padre, Vincenzo Galilei, asistió a la Universidad de Pisa, donde realizó estudios de medición y de filosofía aristotélica. Más tarde optó por el estudio de las matemáticas; ciencia donde encontró la base de su verdadero conocimiento de las leyes de la naturaleza.

Su primer gran descubrimiento lo hizo entre 1581 y 1583. Se cuenta que cuando asistía a misa en la catedral de su ciudad natal, observó cómo una lámpara suspendida se balanceaba y realizaba grandes arcos en el aire; también notó que el tiempo que tardaba en hacer cada oscilación era siempre el mismo. Al regresar a su casa reprodujo el fenómeno con bolas de plomo atadas a hilos de diferentes longitudes, entonces descubrió que cualquiera que fuese la magnitud de la oscilación o el peso del plomo, la bolita utilizaba el mismo tiempo para completar un viaje de ida y vuelta. Únicamente el cambio de la longitud del hilo afectaba el tiempo de oscilación. Con estas observaciones pudo inventar el péndulo, el cual se utiliza en los relojes e instrumentos para medir el tiempo.

A los 25 años, Galileo obtuvo el nombramiento de profesor de matemáticas de la Universidad de Pisa. Como profesor continuó el análisis de las

expuso el proyecto de fabricación de una balanza hidrostática que le permitió determinar el peso específico de los cuerpos. Investigó también el comportamiento de los cuerpos en caída libre, y propuso que en el vacío todos los objetos caerían a la misma velocidad. Esta aseveración fue comprobada con todo rigor años más tarde.

Galileo expuso que la velocidad de caída de un cuerpo, bajo la atracción de la Tierra, aumentaba uniformemente con el tiempo y también que la distancia total que recorría aumentaba con el cuadrado del tiempo. Describió el movimiento de un cuerpo por la influencia de dos fuerzas simultáneas. Una de ellas daba el impulso inicial y horizontal que mantenía al cuerpo moviéndose a una velocidad constante en dicha dirección. La otra fuerza, aplicada en sentido vertical, hacía caer al cuerpo con cierta aceleración. Ambas fuerzas provocaban que el cuerpo siguiera una trayectoria parabólica. Con estas ideas Galileo esbozó los principios de una ciencia de artillería, la cual más tarde recibiría el nombre de balística.

Estas ideas aclararon el concepto de cuerpos sujetos a más de una fuerza, y mostraron cómo los objetos pueden compartir el movimiento de rotación de la Tierra y sus movimientos particulares.

Establecido en Padua, entabló correspondencia con Kepler. En 1609 oyó hablar de un tubo que amplificaba imágenes por medio de lentes y que se había descubierto en Holanda. Él, por su cuenta, hizo su versión particular del telescopio; construyó el instrumento con 32 aumentos. Así, en ese año se inició la época de la astronomía telescópica. Gracias a su invento observó las montañas de la Luna y las manchas del Sol. Galileo hizo una gran labor de divulgación de sus descubrimientos por medio de un libro que denominó *Sederus Nencius* (Mensajero de las estrellas). Ante las grandes innovaciones de Galileo, la Iglesia se mostró bastante inquieta; el papa Pío V declaró herejía la doctrina de Copérnico, y le ordenó a Galileo que guardara teorías científicas de Aristóteles, recurriendo a la aplicación de las matemáticas y a las observaciones experimentales. En 1506 publicó un texto donde

silencio. Sin embargo, más tarde, bajo el papado de Urbano VIII, Galileo publicó su *Diálogo sobre los mayores sistemas del mundo*, donde aparecen dos personajes —uno que representa a Ptolomeo

y otro a la teoría de Copérnico— que exponen sus puntos de vista a un tercero. Por esta obra, Galileo fue acusado ante la Inquisición por herejía y tuvo que renegar de sus ideas.

Hay dos grandes científicos herederos de Galileo, el holandés Christiaan Huygens (1629-1695) y el inglés Isaac Newton (1642-1727). Nótese que éste nace el año que Galileo muere.

### Christiaan Huygens (1629-1695)

Astrónomo y físico-matemático holandés. Nació en La Haya el 14 de abril de 1629. Recibió una educación muy esmerada. Asistió a las universidades de Breda y Leyden donde obtuvo los más altos reconocimientos. Inicialmente se dedicó a las matemáticas y más tarde orientó sus estudios a la astronomía y la física. Junto con su hermano y un amigo descubrió un nuevo método para pulir y mejorar las lentes de los telescopios. La buena calidad de las lentes de Huygens permitieron observar con mayor claridad el cielo.

Estuvo en París por varios años (1666-1681). Cuando regresó a su natal Holanda se dedicó exclusivamente a las investigaciones ópticas; recurría a los prismas para estudiar la luz. Formuló la

teoría ondulatoria de la luz y utilizó las expresiones de longitud de onda y frecuencia, con las que se determina el tono de un sonido; incorporó sus resultados en el libro *Tratado sobre la luz*, publicado en 1678. Huygens descubrió que cuando la luz atraviesa por un prisma la velocidad de las ondas luminosas se reduce y refracta en diversos ángulos, así pudo explicar la dispersión de los colores. Por ejemplo, afirmó que la luz violeta y azul tienen la mayor frecuencia y la menor longitud de onda, y que la luz verde y amarilla tienen la menor frecuencia y mayor longitud de onda de todos los colores. Murió el 8 de julio de 1692 en la misma ciudad en que había nacido.

### Issac Newton (1642-1727)

Uno de los más grandes talentos que ha dado la humanidad. La obra capital de Newton fue *Principia Mathematica*, donde presentó un innovador esquema general del Universo que cierra con broche de oro, la llamada *revolución científica*. Nacido en Woolsthorpe, Inglaterra, el 25 de diciembre de 1642, murió en Londres el 20 de marzo de 1727. Durante su infancia vivió con sus abuelos; en la escuela elemental fue un niño raro, aficionado a

elaborar sus propios juguetes con algunos procedimientos mecánicos surgidos de su propia imaginación. Un tío de Newton insistió en enviarlo a estudiar a la Universidad de Cambridge, donde obtuvo el grado de bachiller en 1665. Newton estudió el fenómeno de la gravedad a partir de los principios de Galileo; como consideró que sus conclusiones eran erróneas retomó el problema quince años más tarde.

Entre 1656 y 1666 enfocó sus estudios a la óptica y al espectro luminoso; demostró que los colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta formaban partes de la luz blanca, para lograrlo utilizó un prisma. Este descubrimiento le proporcionó un gran renombre.

A los 27 años de edad asumió el cargo de profesor de matemáticas en la Universidad de Cambridge. En 1672 formó parte de la Royal Society, donde expuso sus observaciones sobre la luz y el calor. Newton inventó el telescopio de reflexión para evitar la aberración cromática.

Otro aporte de Newton fue el desarrollo del cálculo en 1669. Con esta nueva teoría Newton se colocó a la cabeza de los matemáticos de su época.

Newton volvió a estudiar los movimientos de los cuerpos celestes hacia el año 1679. En 1684 empezó a redactar su principal obra: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, conocida universalmente como *Principia Mathematica*. En este libro, Newton expuso las conocidas tres leyes del movimiento. En la primera ley hizo referencia al principio de la inercia: un cuerpo en reposo permanecerá en reposo y un cuerpo en movimiento con velocidad constante permanecerá así siempre y cuando no intervengan fuerzas exterior-

es que lo modifiquen. En la segunda ley del movimiento, Newton establece una relación entre la fuerza, la masa del cuerpo y la aceleración producida, con lo que establece la primera diferencia entre la masa de un cuerpo (cantidad de inercia que posee) y su peso (es decir la cantidad de fuerza gravitatoria existente entre él mismo y otro cuerpo). La tercera ley señala que para cada acción existe una reacción igual y de sentido contrario. Con estas tres leyes este científico inglés redujo todo lo que hasta entonces se conocía de mecánica. Además, encontró una relación matemática entre la fuerza gravitatoria de los cuerpos en el espacio.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

donde las masas de los cuerpos son  $m_1$  y  $m_2$ , respectivamente,  $d$  es la distancia entre sus centros,  $G$  la constante gravitatoria y  $F$  la fuerza de atracción de la gravedad entre estas dos masas. Esta ecuación se conoce como la *ley de gravitación universal*. En 1703 Newton ocupó el cargo de presidente de la Royal Society de Londres, el cual desempeñó hasta el fin de sus días.

En las épocas antiguas los países tenían sus propias medidas de longitud, por lo que los valores de las medidas locales no podían compararse con los de otros países. Cuando la tecnología comenzó a desarrollarse y el comercio entre los diferentes países floreció, se hizo necesario unificar el sistema de medidas y unidades.

En 1664, Huygens pensó en utilizar el periodo de una oscilación (el cual Galileo Galilei había descubierto que era constante) como el estándar de longitud. Sin embargo, el periodo era afectado por la masa de la cuerda, la posición del centro de masa de la esfera, el aire arrastrado y el desgaste de la cuerda. Estos factores atenuaban el movimiento de vaivén del péndulo y, en consecuencia, este sistema no pudo llevarse a la práctica.

Fue Newton quien, basándose en su experiencia con relojes, sustituyó los descubrimientos mecánicos de Galileo por experimentos en rotación. Fue el primero en establecer una distinción clara entre masa y peso. Con sus estudios de óptica defendió la teoría ondulatoria de la luz. Sin lugar a dudas, sir Isaac Newton es considerado el más grande genio científico de todos los tiempos,

aunque esto es una exageración, puede perdonarse al considerar la naturaleza de sus logros; entre ellos puede citarse la sistematización de la mecánica con la introducción de la tercera ley del movimiento (la ley de acción y reacción), sin la cual la mecánica sería incompetente para describir los movimientos de sistemas de partículas. Newton introdujo la ley de gravitación, con la cual pudo comprenderse el movimiento de los planetas. Trabajó experimentalmente con la dispersión de la luz. Otras de sus aportaciones tuvieron que ver con las matemáticas; creó un nuevo método matemático, el cálculo, que incrementó tremendamente el poder descriptivo de la técnica y la misma metrología, por su alta relación con las matemáticas que son básicas para el desarrollo de la metrología.

En 1670, Mouton (escolástico francés) propuso usar la diezmillonésima parte del cuadrante terrestre (lo cual corresponde a la cuarentamillonésima parte del meridiano) como el estándar de longitud. Desde entonces se ha estado buscando un método de medición relacionado con la Tierra. En 1791, un comité designado por el gobierno francés determinó que la nueva unidad de longitud, que era la diezmillonésima parte del cuadrante que va del Polo Norte a la línea del Ecuador, se llamara "metro". Pasaron 120 años desde la propuesta original hasta su introducción oficial.

En junio de 1792 se comenzó a medir la distancia entre Dunkerke (al norte de Francia) y Barcelona (en las costas del Mediterráneo español) por medio de triangulación. Entonces se utilizó un goniómetro tipo reversible, inventado por Borda, cuya exactitud era de un segundo. La medición se terminó en junio de 1798.

### Leonhard Euler (1707-1783)

El matemático suizo Leonhard Euler reveló una gran imaginación, inventiva y excepcionales características para el pensamiento matemático. Euler es uno de los más productivos estudiosos de las matemáticas. Con sus tratados vinculó las matemáticas a muy diversos campos de la ciencia. También geómetra, nació en Basilea, Suiza; el 15 de abril de 1707 y murió en San Petersburgo, Rusia, el 18 de septiembre de 1783.

Su padre fue pastor calvinista, Pablo Euler, quien le enseñó sus primeras nociones de matemáticas. Originalmente su vocación profesional se dirigió hacia el ministerio religioso. Después realizó estudios en la Universidad de Basilea con Johann Bernoulli, con cuya familia estableció gran amistad. Por los empeños paternos, Euler estudió teo-

logía y lenguas orientales, pero su definida y definitiva vocación eran, sin duda, las matemáticas. En 1726, a los 19 años de edad, ganó un *jaccésit!*, concurso abierto de la Academia de Ciencias de París. Posteriormente, recibió una invitación de los Bernoulli para trabajar en la Academia de Ciencias de San Petersburgo como adjunto de matemáticas superiores.

En 1730, a los 23 años, impartió la clase de física teórica y experimental, y más tarde la de matemáticas superiores.

Después perdió su ojo derecho debido a un derrame cerebral; una ceguera progresiva caracterizó buena parte de su vida. En 1736 escribió su tratado de mecánica: *Mechanical sive motus Scientia Analytica*. En 1741 visitó Berlín, donde más





tarde recibió el nombramiento de director de la clase de matemáticas de la Academia de Berlín, allí permaneció hasta 1766, año en que regresa a San Petersburgo.

Las investigaciones de Euler están vinculadas a un gran número de fórmulas y teorías matemáticas. Sus trabajos son exposiciones concretas y precisas, y sus análisis rigurosos y profundos, por lo cual son altamente valorados. Cuando murió dejó más de doscientas investigaciones que fueron publicadas posteriormente por la Academia de San Petersburgo; después de su fallecimiento se encon-

traron varios trabajos inéditos que fueron publicados con el nombre de *Opera póstuma* (San Petersburgo, 1862).

En el campo de la mecánica son famosos sus estudios sobre las cuerdas vibrantes; en hidrostática estableció la generalización del principio de Clairaut y de las ecuaciones generales de la hidrodinámica. Obtuvo el premio de la Academia de Ciencias de París en 1748 y en 1752.

Señaló las relaciones de las matemáticas con la música, la óptica y la hidrodinámica (construcción de molinos de viento y barcos).

### Jean Charles Borda (1733-1799)

Matemático y marino francés. Investigó sobre la resistencia de fluidos y ruedas hidráulicas; determinó la posición exacta de las islas Canarias; construyó un círculo de reflexión y los círculos repetidores

adecuados para facilitar las observaciones terrestres. Recurrió al péndulo para medir la intensidad de la gravedad.

Para la medición, en Francia fue usada la escala llamada *toharz*, de acuerdo con ésta se estableció que la distancia entre el Polo Norte y el Ecuador era de 5 130 740 toharzes. El valor fue obtenido usando toda la tecnología de corrección disponible en ese tiempo.

En 1799 fue hecha una barra de platino de 1 metro de longitud y su sección transversal era de 25.3 mm.  $\times$  4 mm. Sobre esta barra patrón se grabó la leyenda *Metre des Archives* (o sea **metro de archivo**).

Newton sentó las bases para que durante el siglo XVIII hubiera un desarrollo y progreso sorprendentes. Grandes genios como D'Alembert, Lagrange, Laplace, Euler y tres Bernoullies surgen y aplican los principios de la mecánica al movimiento, no sólo a los cuerpos celestes sino también a medios continuos como cuerdas, membranas, líquidos y gases. Este siglo fue la época dorada de la mecánica. El notable científico suizo Leonhard Euler murió en 1783 y sus trabajos se publicaron en 1818. El gran tratado de Lagrange *Mecánica analítica* reduce la mecánica a una rama del análisis matemático, mientras Laplace trabaja con el movimiento de los planetas, el cual es tan exacto que el autor asegura: "¡Ya no se necesita a Dios en el Universo!"

### Daniel, Jacob y Johann Bernoulli (1700-1782), (1654-1705) y (1667-1748)

El apellido Bernoulli corresponde a una famosa familia de científicos, cuyas contribuciones en el campo de las matemáticas y la física fueron de gran valor. El cálculo matemático, el cálculo infinitesimal, el cálculo diferencial e integral, el estudio del flujo de los fluidos y el estudio del comportamiento de los gases son algunos de los trabajos más importantes de este grupo de científicos.

Daniel, nacido en Groninga, Países Bajos, el 29 de enero de 1700, perteneció a una distinguida familia. Su tío Jacob y su padre Johann fueron grandes matemáticos, ambos trabajaron sobre nuevas aplicaciones del cálculo diferencial e integral, Daniel inició sus actividades como matemático cuando comenzó a impartir clases en San Petersburgo. En 1733 regresó a Suiza, donde empezó su labor como investigador. Escribió un libro donde analizó el flujo de fluidos y la hidrodinámica; ahí explicó que al incrementarse la velocidad de los fluidos disminuía la presión. Precisamente éste es el principio de Bernoulli que se usa para obtener vacío en los laboratorios. Este científico fue el primero que estudió el problema del comportamiento de los gases al cambiar la temperatura y la presión, lo que sentó las bases de la teoría cinética de los gases, la cual considera que los gases están integrados por un gran número de diminutas partículas. Daniel Bernoulli murió el 17 de marzo de 1782 en Basilea, Suiza.

Jacob Bernoulli nació el 27 de diciembre de 1654, en Basilea, Suiza. Inicialmente realizó estudios de teología, más tarde descubrió su vocación por las matemáticas y la astronomía. Finalmente se dedicó a la enseñanza de la física y las matemáticas en 1687. Junto con su hermano Johann, resolvió problemas matemáticos célebres en su época; publicó la primera integración de una ecuación diferencial y resolvió el problema de los isoperímetros. Analizó los principios y las aplicaciones del cálculo de probabilidades.

Johann Bernoulli nació también en Basilea, Suiza el 27 de julio de 1667; hermano de Jacob y padre de Daniel, se dedicó al estudio de las matemáticas, aunque su trabajo estaba relacionado con el comercio. Obtuvo un grado en medicina en 1690. Viajó por Génova, Lyon y París, donde pudo mostrar su gran habilidad como matemático. En 1694 regresó a Basilea, donde obtuvo el título de doctor en medicina. Durante un decenio fue profesor de matemáticas y física en Holanda. En 1705 radica en Basilea y ocupó la cátedra de su hermano. Johann elaboró algunos trabajos sobre óptica, una teoría de las mareas, difundió el nuevo cálculo leibniziano, escribió el primer tratado de cálculo diferencial e integral y es considerado como uno de los fundadores de la mecánica analítica. Murió en Basilea, el 1 de enero de 1748.

### Jean le Rond D'Alembert (1717-1783)

Este físico y matemático francés, natural de París, alcanzó la fama universal con el discurso preliminar de la *Enciclopedia*, para la cual escribió diversos artículos y coordinó junto con Diderot. Fiel exponente de las ideas de la Ilustración, adoptó una postura racionalista y empirista que consistió en la negación de toda realidad trascendente, creencia propia del oscurantismo según los ilustrados. Asimismo, rechazó los prin-

cipios metafísicos porque no eran comparables mediante la experimentación. Para D'Alembert no existe más camino que el estudio de la historia, cuando el hombre pretende conocerse a sí mismo y orientarse en el futuro. Su trabajo científico más conocido es el *Tratado de la dinámica*, aunque también es importante el *Ensayo sobre los elementos de la filosofía*.

### Joseph-Louis Conde de Lagrange (1736-1813)

Matemático y astrónomo, Lagrange hizo enormes contribuciones tanto en matemáticas como en mecánica. De ascendencia francesa, nació el 25 de enero de 1736 en Turín, Italia. Desde su juventud se aficionó a las matemáticas. A los dieciocho años impartía clases de esta disciplina en la Real Escuela de Artillería de Turín, donde varios científicos se integraron y formaron la Academia de las Ciencias de Turín. Lagrange preparó un ensayo sobre el cálculo de variaciones que dio a conocer a su maestro Euler, quien, impresionado, propició su publicación. Lagrange sólo vivió para la ciencia; elaboró una sistematización de la mecánica. En 1788, en París, publicó su *Mecánica analítica*. Vivió en París durante la Revolución francesa, época de su vida caracterizada por una exigua actividad

científica. Cuando el gran químico Lavoisier fue guillotinado, Lagrange comentó: "Se requiere sólo un instante para quitarle la cabeza y quizá un siglo no será suficiente para producir otra cabeza como la de él."

En 1793 realizó uno de sus últimos trabajos, se le designó para dirigir una convención de estudio para establecer un sistema de pesas y medidas; el resultado fue el sistema métrico, sistema de gran lógica y rigor adoptado por un sinnúmero de países. Antes ya había expuesto teorías como las de las ecuaciones diferenciales, la serie de Lagrange, la teoría de los números y el cálculo de probabilidades. Fue honrado por Napoleón. Murió el 10 de abril de 1813 en París, Francia.\*

Los adelantos en la mecánica durante el siglo XVIII no deben cegarnos, ya que se llevaron a cabo otro numeroso grupo de experimentos con la luz, el calor, la electricidad y el magnetismo, siendo fundamentalmente materialísticos en naturaleza. Así, el calor fue descrito en términos de una sustancia sin peso calórico, mientras que la electricidad y el magnetismo fueron interpretados como sustancias fluidas, imponderables. Huygens es quien asume la existencia de pequeñas partículas imponderables llamadas corpúsculos que parten en todas direcciones desde un cuerpo luminoso.

Durante el primer tercio del siglo XIX la brecha entre los fenómenos eléctricos y magnéticos se redujo.

Fue posible generar efectos magnéticos por medios puramente eléctricos (por ejemplo, cargas eléctricas en movimiento producen un campo magnético) y viceversa. (El movimiento de una espira cerrada de alambre a través de un campo magnético puede producir un flujo de carga eléctrica *Efecto Faraday-Lenz*.) Así, el electromagnetismo nació con la cooperación de Oersted, Ampère, Faraday y Maxwell.

### Heinrich Friedrich Emil Lenz (1808-1865)

Lenz nació en el norte de Rusia, y hay poca información acerca de su infancia, con excepción de que en sus primeros años estudió teología, disciplina que más tarde cambió por las ciencias naturales y la física. A la edad de 20 años hizo un viaje

alrededor del mundo como naturalista; especializándose en geología. Cuando el viaje concluyó, hizo un reporte sobre éste a la academia de ciencias, y fue hecho profesor de física en San Petersburgo y electo a la Academia de Ciencias. En esa

\* Lagrange tuvo la responsabilidad de establecer el uso del metro en Francia hace 200 años. Tuvo grandes dificultades para el establecimiento e implantación del metro patrón, que fue marcado en cuatro grandes piedras de granito en la ciudad de París, donde los usuarios podían tomarlos como muestras o patrones.

época empezó sus investigaciones sobre electromagnetismo, para ello estudió cuidadosamente los experimentos de Faraday. También escribió varios trabajos, entre ellos destacan *Las leyes que gobiernan la acción de un imán sobre una espiral cuando repentinamente se aproxima o se retira de él* y *El método más ventajoso de construcción de espirales para imán de propósito eléctrico*. Más tarde investigó la resistencia de los metales y enunció una fórmula que consideró al cambio de resistencia

como una función de la temperatura. El 29 de noviembre de 1833 lee un papel "Sobre la dirección de las corrientes galvánicas que son excitadas a través de inducción electrodinámica" que contenía un fundamento familiar, "La acción electrodinámica de una corriente inducida que se opone igualmente a la acción mecánica inducida en ella", ahora conocida como ley de Lenz. Fue un escritor prolífico y en 1864 publicó, en dos volúmenes, el *Manual de Física*.

### Hans Christian Oersted (1777-1851)

Este físico danés al principio estudió medicina, pero en 1806 fue designado profesor de física y química en la Universidad de Copenhague. En 1829 llegó a ser director del Politécnico de la misma ciudad.

Sus trabajos sobresalientes fueron el establecimiento de las íntimas relaciones entre las corrientes eléctricas "galvánicas" y el magnetismo.

### André Marie Ampère (1775-1836)

Este físico francés mostró, desde sus tempranos días, especial aptitud para las matemáticas y las ciencias. En 1801 fue designado profesor de física y química en Bourg; en 1804 fue designado profesor de física y química en el Liceo de Lyons, en 1809 fue designado profesor de matemáticas en la Escuela Politécnica en París y más tarde en el Colegio Francia. Sus importantes contribuciones fueron el

establecimiento de las relaciones existentes entre la electricidad y el magnetismo, en las que dio, por mucho, una más completa exposición que Oersted. Ampère desarrolló la teoría matemática que no sólo explicó las relaciones que habían sido observadas entre la corriente y el campo magnético sino predijo muchas nuevas.

### Michael Faraday (1791-1867)

Este químico y físico inglés fue hijo de un herrero, y hasta 1813 fue aprendiz de encuadernador. Por petición de sir Humphry Davy fue designado asistente en el laboratorio del Instituto Real de la Gran Bretaña, del cual fue nombrado director en 1825, y en 1833 fue designado profesor vitalicio de química. Aunque hizo importantes descubrimientos en química, su trabajo sobresaliente fue en el campo de la electricidad. Fue el primero en producir rotación continua con dos alambres conductores de corriente y dos imanes

(acción de motor), y el primero en producir una corriente en un circuito a ser inducido por magnetismo o por una corriente en otro circuito (acción de generador e inducción mutua). Descubrió las dos leyes fundamentales de la electrólisis, el efecto del magnetismo sobre luz polarizada, diamagnetismo, e hizo notables contribuciones: conceptos para el entendimiento de fenómenos electrostáticos, la ley de cargas iguales y opuestas y el tubo de Faraday.

### James Clerk Maxwell (1831-1879)

Este eminente físico británico mantuvo por más de la mitad de su corta vida una relevante y predominante posición en el principal grupo de los filósofos naturales. Aunque hizo admirables contribuciones a los temas de mecánica y calor, sus grandes contribuciones fueron en el campo de la electricidad y el magnetismo. Su trabajo *Electricidad y magnetismo*, publicado en 1873, aún es considerado una de las contribuciones más sobresalientes de todos los tiempos. En esta obra reduce todos los fenómenos eléctricos y magnéticos a esfuerzos

en un medio material, expresando estos hechos por medio de ecuaciones matemáticas generales. Además, él también dedujo la teoría electromagnética general, y la teoría electromagnética de la luz y predijo la existencia de las ondas electromagnéticas (radio) años antes de que las descubriera Hertz en 1888. Fue el primero en desarrollar la teoría del circuito resonante RLC (Resistencia, inductancia y capacitancia) de corriente alterna.

En el siglo XIX creció la inquietud y el interés por el experimento cuantitativo. Las mediciones empezaron a reemplazar a las observaciones puramente cualitativas. La temperatura empezó a medirse con termómetros más exactos, fueron inventados medidores eléctricos de varias clases, fueron construidas balanzas más exactas, etcétera. Esto significó un gran avance en exactitud. Inevitablemente, las teorías tendieron a ser más abstractas. Por 1828, George Green tenía la teoría de la electrostática sustancialmente en la forma que nosotros la conocemos hoy. Maxwell publicó su gran trabajo sobre la teoría electromagnética alrededor del año de 1860. La teoría cinética de los gases data casi de la misma época.

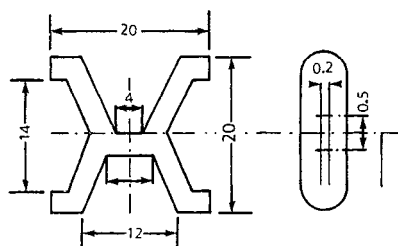
Ciertos conceptos empiezan a cobrar una importancia que antes no les era reconocida; el más importante de ellos es la energía, al principio definida como concepto estrictamente mecánico; después vino la ley de la conservación de la energía donde, según Lavoisier, "la energía no puede ser creada o destruida sino sólo transformada". También se descubrió la interacción de materia y energía en los cuerpos calientes; la emisión de radiación no siguió la clásica teoría ondulatoria de la luz; se avanzó en la descarga de la electricidad a través de gases; finalmente, llegó el descubrimiento de la radiactividad en la última década del siglo XIX y más descubrimientos acerca de la constitución o estructura de la materia.

En 1870, se llevó a cabo en París una conferencia internacional sobre longitud. En mayo de 1875, diecisiete naciones firmaron el Tratado Internacional del Sistema Métrico, por medio del cual se fundó la Oficina Internacional de Pesos y Medidas, con sede en Sèvres, a las afueras de París. En 1876 empezó a fabricarse y reproducirse el prototipo del metro para las naciones que participaron en el tratado.\*

Se hicieron 32 barras, las cuales se componían de 90% de platino y 10% de iridio. Estas barras eran de 1020 mm de largo y de forma de X en su sección transversal. Las caras, de más de 8 mm en la vecindad de los bordes, se pulieron y se les grabaron líneas de graduación de 6 a 8  $\mu\text{m}$  de ancho, luego la distancia

\* El metro de 1791 fue marcado sobre granito.

total entre líneas se completó hasta llegar a 1 metro. La temperatura siempre se mantuvo lo más cercana posible a los 20°C. Véase la Figura 1.1



**Figura 1.1.** Vista en sección transversal del prototipo del metro.

De entre los 32 prototipos fabricados se determinó que el núm. 6 era el más semejante al **Metro de archivo** y fue designado como el prototipo internacional del metro en la Primera Conferencia Internacional de Pesos y Medidas, celebrada en 1889. Este prototipo se guardó en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas.\*

En 1889, Japón ratificó el tratado internacional del sistema métrico y recibió el prototipo núm. 22, el cual ha sido el prototipo japonés y permanece en custodia en el National Research Laboratory of Metrology (Laboratorio Nacional de Investigaciones Metrológicas del Japón).

En 1956, el metro fue enviado a Suiza para que le grabaran nuevas líneas en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas. También se le grabaron líneas de graduación con intervalos de 1 mm y se hizo la revisión que establecía la longitud en 1 m a 20 °C.

A México le fue asignado el patrón núm. 25, el 25 de septiembre de 1889, el cual quedó en custodia en la Secretaría de Fomento. Actualmente lo custodia la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

La física y la metrología del siglo XX han avanzado más que en los diecinueve siglos precedentes; lo han hecho durante y debido a las guerras mundiales, la mecánica cuántica y relativista, la astrofísica, etcétera.

La electrónica, desde la creación del triodo por Lee de Forest, ha pasado por el periodo de la válvula de vacío —o bulbo como se le conoció en México— y sus componentes —resistencias, capacitores, bobinas, transformadores, etcétera— hasta que en 1948, tres años después del nacimiento de la era atómica nacen los transistores o semiconductores cuya alta confiabilidad, consumo mínimo de energía y su tendencia a la miniaturización permiten la evolución de otras ciencias y el avance tecnológico, como la óptica, la opto-electrónica y la mecatrónica, el radio, la TV, las comunicaciones, las computadoras, los microprocesadores, los sensores electrónicos, neumáticos y piezo-eléctricos, los calibradores de esfuerzo, las microondas, el rayo láser, etcétera.

### Introducción del concepto de la longitud de onda para la estandarización

Debido a que las líneas de graduación no eran lo suficientemente delgadas, la longitud esculpida en el metro prototipo tenía una inexactitud de cerca de 0.2

\* El metro de 1791 fue marcado sobre granito.

$\mu\text{m}$ . El prototipo podría ser destruido por una guerra, tal como la Primera Guerra Mundial de 1914-1918. Por tanto, se hizo un esfuerzo para encontrar un valor invariable, basado en fenómenos naturales, que pudiera usarse como un nuevo estándar en reemplazo del prototipo del metro. Para este propósito, la longitud de onda de una luz monocromática era lo más universal y seguro, por lo que se llevaron a cabo experimentos con la longitud de onda de la luz roja Cd en nueve lugares del mundo, incluyendo a Japón.

Finalmente, en la Séptima Conferencia Internacional de Pesos y medidas, efectuada en 1927, se definió al metro como sigue:

La longitud de onda de la luz roja Cd (cadmio)

$$\lambda_{\text{CdR}} = 0.64384696 \mu\text{m}$$

$$1 \text{ m} = 1553164.13 \text{ CdR}$$

Bajo las siguientes condiciones:

Temperatura =  $15^\circ\text{C}$  (termómetro de hidrógeno)

Presión atmosférica = 760 mm de Hg

Ambiente = Aire seco conteniendo 0.03% de CO

Aceleración gravitacional =  $980.665 \text{ cm/s} = g$

Así, la longitud estándar podía obtenerse fácilmente por medio de una lámpara de Cd (cadmio) sellada en un tubo de rayos catódicos y líneas de electricidad.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la física atómica experimentó un gran progreso y se efectuaron extensos trabajos de investigación acerca de la radiación de isótopos con el mismo número atómico, los cuales emitían luces monocromáticas que eran más adecuadas que aquellas de los elementos naturales. En la Conferencia Internacional de Pesos y Medidas efectuadas en 1957, se propuso adoptar la longitud de onda en el vacío de la luz emitida por la transición entre  $\text{Kr}^{86}2p_{10}$  y  $5d_5$  ( $\text{Kr}^{86}$  da luz naranja). La propuesta fue aprobada en la Onceava Conferencia Internacional de Pesos y Medidas, celebrada en octubre de 1960, la cual señala que: "La unidad de medida de longitud es el metro. Un metro es igual a 1650763.73 veces la longitud de onda de una luz emitida por la transición entre los niveles de energía del  $\text{Kr}^{86}2p_{10}$  y  $5d_5$ . Ésta debe ser medida en el vacío en cumplimiento a la decisión de la Conferencia Internacional de Pesos y Medidas."

De acuerdo con esta definición, un metro puede reproducirse con una exactitud de cerca de  $10^{-8}\text{m}$ , es decir,  $0.01 \mu\text{m}$ .

Según la Conferencia General de Pesos y Medidas, la nueva definición del metro es: la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío, durante un lapso de  $1/299792458$  de segundo.

# Normas y normalización

## INTRODUCCIÓN

La vida civilizada implica una serie de reglamentaciones, costumbres, y leyes que nos permiten vivir en comunidad, con un comportamiento honesto y de respeto hacia nuestros semejantes, y facilitan el orden, la eficiencia y las interrelaciones. Algunos ejemplos son: la hora oficial, la circulación de los vehículos por la derecha, el comportamiento comercial, los sistemas monetarios de cada país, etcétera.

Al conjunto de este tipo de reglamentaciones se le puede llamar, en cierta forma, *normalización*. Sin embargo, lo que en particular nos interesa es la **normalización de productos y procesos en la industria**.

Básicamente, la normalización es comunicación, —entre productor, consumidor o usuario— basada en términos técnicos, definiciones, símbolos, métodos de prueba y procedimientos. Es, además, una disciplina que se basa en resultados ciertos —adquirido medio de la ciencia, la técnica y la experiencia— y fruto de un balance técnico-económico del momento.

La normalización técnica fue considerada, hasta hace algunos años, como efecto de la industrialización y el desarrollo. En la actualidad se dice que es la causa o elemento motor en que se apoyan la industrialización y el desarrollo económico. En síntesis, es una actividad primordial en la evolución económica de cualquier país.

## NORMALIZACIÓN

La normalización es la actividad que fija las bases para el presente y el futuro, esto con el propósito de establecer un orden para el beneficio y con el concurso de todos los interesados. En resumen, la normalización es, el proceso de elaboración y aplicación de normas; son herramientas de organización y dirección.

La Asociación Estadounidense para Pruebas de Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) define la normalización como el proceso de formular y aplicar reglas para una aproximación ordenada a una actividad específica para el beneficio y con la cooperación de todos los involucrados.

## NORMA

La norma es la misma solución que se adopta para resolver un problema repetitivo, es una referencia respecto a la cual se juzgará un producto o una función y, en esencia, es el resultado de una elección colectiva y razonada.



Prácticamente, norma es un documento resultado del trabajo de numerosas personas durante mucho tiempo, y normalización es la actividad conducente a la elaboración, aplicación y mejoramiento de las normas.

## ESPECIFICACIÓN

Una especificación es una exigencia o requisito que debe cumplir un producto, un proceso o un servicio, ya que siempre el procedimiento por medio del cual puede determinarse si el requisito exigido es satisfactorio. Una especificación puede ser una norma, pero generalmente es parte de una norma, por ejemplo: el contenido de humedad de un producto es una exigencia que es cumplir, pero la norma puede tener más exigencias.

## OBJETO DE LA NORMALIZACIÓN

Todo aquello que puede normalizarse o merezca serlo es objeto de la normalización; abarca desde conceptos abstractos hasta cosas materiales, por ejemplo: unidades, símbolos, términos, tornillos, leche, agua, equipos, máquinas, telas, procedimientos, funciones, bases para el diseño de estructuras, sistemas para designar tallas y tamaños de ropa, zapatos, listas, dibujo técnico, documentación, etcétera.

## PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA NORMALIZACIÓN

La normalización técnica, como cualquier actividad razonada, cuenta con principios básicos, los cuales son producto, en parte, de la actividad de la STACO, organismo creado por la Organización Internacional para la Normalización (ISO) que se dedica a estudiar y establecer los principios básicos para la normalización. Parte de sus resultados se resumen aquí.

Cuando iniciamos un trabajo de normalización y tenemos que situar a nuestro **objeto** por normalizar en un contexto general, nos vienen a la mente una serie de relaciones que es necesario definir y catalogar por importancia, de aquí surge el concepto de *espacio de la normalización*.

## ESPACIO DE LA NORMALIZACIÓN

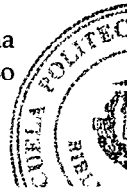
El concepto de espacio de la normalización permite primero identificar y después definir a una norma por medio de su calidad funcional y apoyándose en varios atributos a la vez, las cuales están representados por tres ejes: aspectos, niveles y dominio de la normalización (Fig. 2.1). Este concepto de espacio tiene como único fin ilustrar tres atributos importantes de la problemática de la normalización. Es pertinente aclarar que este espacio no puede tomarse como un espacio matemático de variables continuas ni discretas.

Han sido propuestas varias modificaciones a este espacio, por ejemplo: se agregó la cuarta dimensión relacionada con el tiempo de estudio de la norma y su

aplicación. Pero ninguna de estas cuatro dimensiones dan una identidad que abarque su funcionalidad.

Objetos de la normalización	Cantidades, unidades y factores de conversión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mecánicas</li> <li>Eléctricas</li> <li>Magnéticas</li> <li>Acústicas</li> <li>Caloríficas</li> <li>Luminosas</li> <li>Parámetros dimensionales</li> <li>Números preferentes</li> </ul>	Normas básicas
	Símbolos	Símbolos gráficos sobre: orientación, seguridad productos, materiales equipos, herramientas etcétera	Normas de símbolos
	Nombres	Términos usados en la fabricación, instalación, Utilización, diseño, funcionamiento, servicio, profesión, etcétera	Normas de nomenclatura o glosario
	Productos	<ul style="list-style-type: none"> <li>—Materias primas,</li> <li>—Subproductos</li> <li>—Productos terminados.</li> </ul>	Normas de calidad
	Métodos	<ul style="list-style-type: none"> <li>—De prueba,</li> <li>—De instalación</li> <li>—De funcionamiento</li> <li>—De muestreo</li> <li>—De transporte</li> <li>—De manejo</li> <li>—De selección</li> <li>—De almacenaje</li> <li>—De diseño</li> <li>—De seguridad, etc.</li> </ul>	Normas de métodos o manuales
	Funciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>—De personas</li> <li>—De sistemas</li> <li>—De herramientas</li> <li>—De máquinas</li> <li>—De equipos, etc.</li> </ul>	Manuales

Existen otras dimensiones que influyen sobre la calidad funcional de una norma y, por lo tanto, sobre la contribución de la normalización al progreso



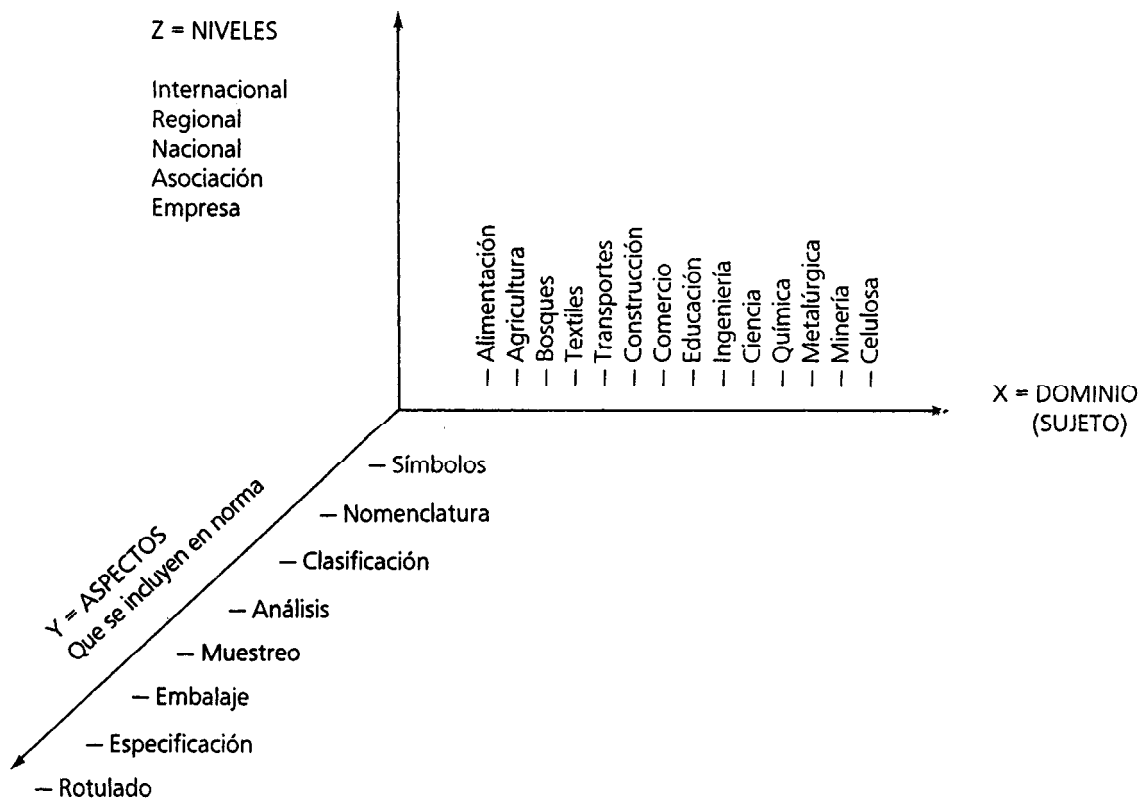


Fig. 2.1

industrial y al bienestar de nuestra sociedad. La modificación más interesante, propuesta por el doctor H.C. Visvesraya, presenta los siguientes atributos abstractos de calidad funcional:

- El contenido tecnológico de las normas que él llama *orientación tecnológica*.
- La naturaleza de la interfaz considerada por la norma para la transferencia de tecnología, a la cual llama *interfaz de transferencia*.
- El sistema sociotécnico-económico al cual pertenece la norma, a la cual llama *status de sistema*.

### Dominio de la normalización (eje X)

En este eje se encuentran las actividades económicas de una región, un país o grupo de países, por ejemplo: ciencia, educación, medicina, metalurgia, agricultura, industria alimentaria, fruticultura, etcétera.

Un objeto de la normalización puede pertenecer a más de un dominio, por ejemplo: el papel pertenece a la industria papelera, a la de las artes gráficas, a la educación, a la publicidad, etcétera.

### Aspectos de la normalización (eje Y)

Un aspecto de la normalización es un grupo de exigencias semejantes o conexas. La norma de un objeto puede referirse a un solo aspecto, por ejemplo: nomenclatura, símbolos, muestreo o definiciones; o bien puede contemplar varios aspectos, como es el caso general de *Normas de producto*, las cuales cubren definiciones, dimensiones, especificaciones, métodos de prueba, muestreo, etcétera.

Dado el problema de normalización que vamos afrontar, podemos situarlo en el espacio de la normalización y establecer sus fines, pero éstos no pueden delimitarse con gran exactitud para cada nivel y cada dominio, puesto que los fines de la normalización son de aplicación común: “contribuir al progreso técnico por la creación del orden de las cosas y en las relaciones humanas en general y ayudar a elevar al hombre a un nivel material y cultural superior”.

### Niveles de la normalización (eje Z)

Cada nivel de la normalización está definido por el grupo de personas que utilizan la norma; entre estos grupos pueden citarse los siguientes; empresa, asociación, nación y grupo de naciones (Fig. 2.2.)

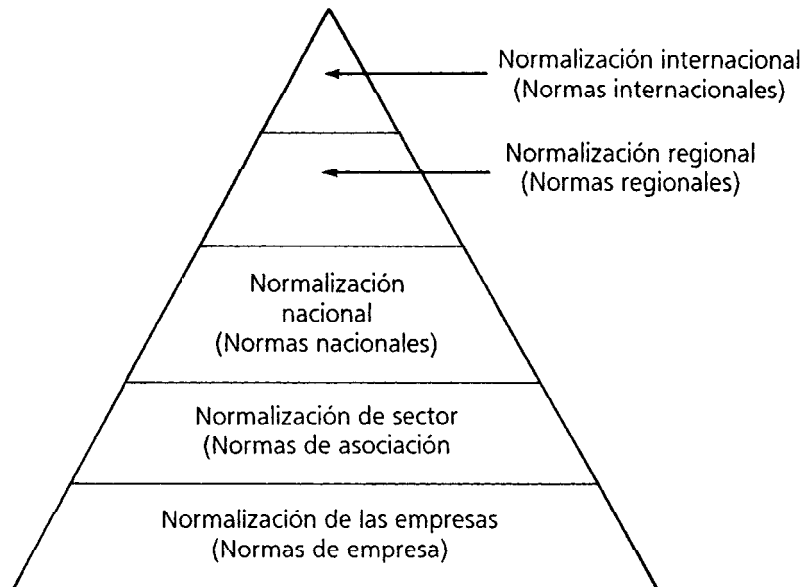


Fig. 2.2

Las normas de empresa son la base para cada campo y ciclo de control en las actividades de una empresa (Figs. 2.3, 2.4 y 2.5).

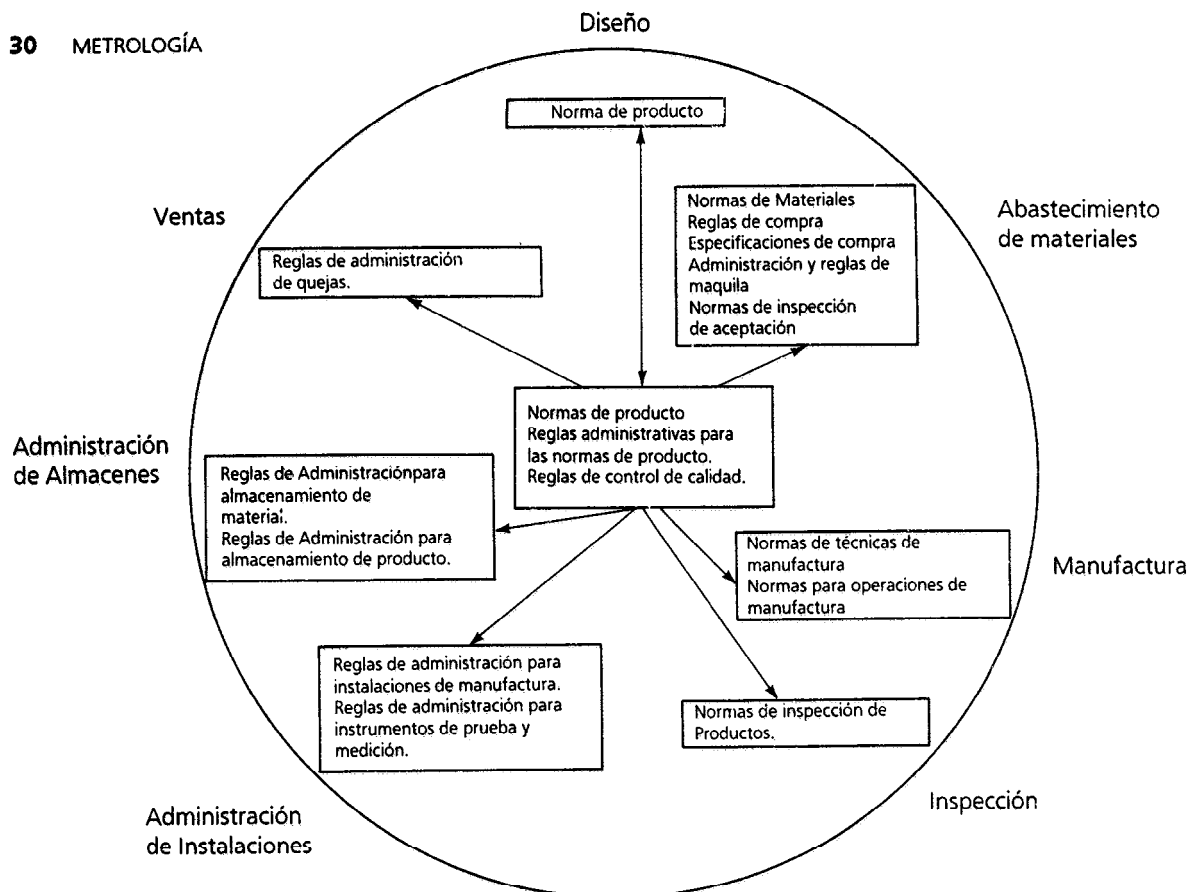


Fig. 2.3 Normas de compañía como base de las actividades empresariales.

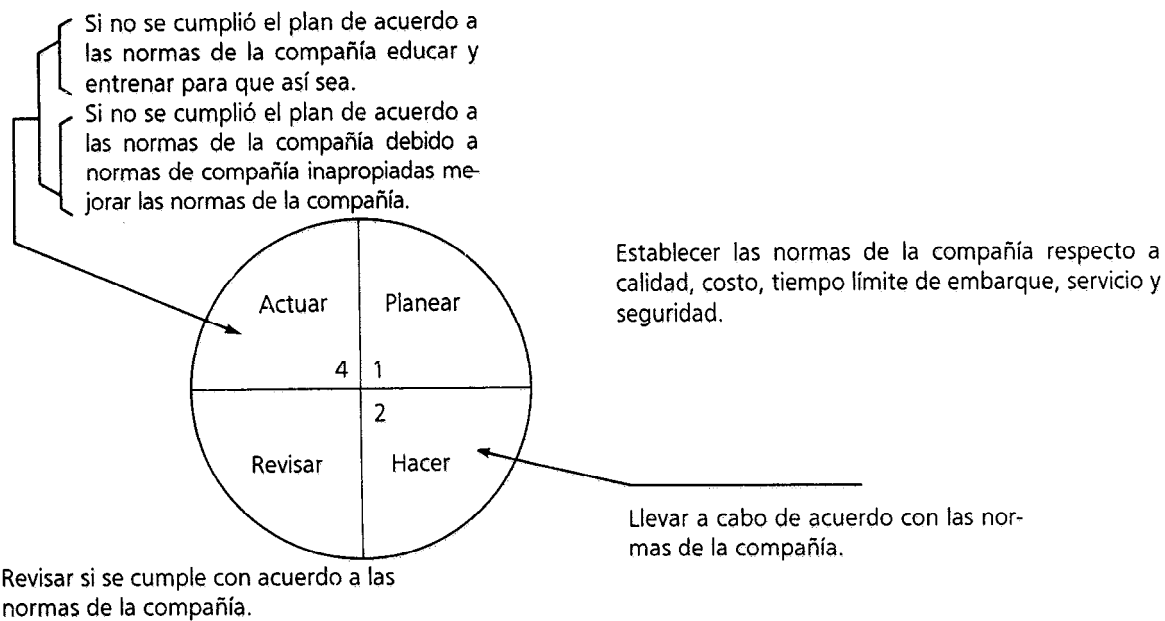


Fig. 2.4 Normas de compañía como base del círculo de control.

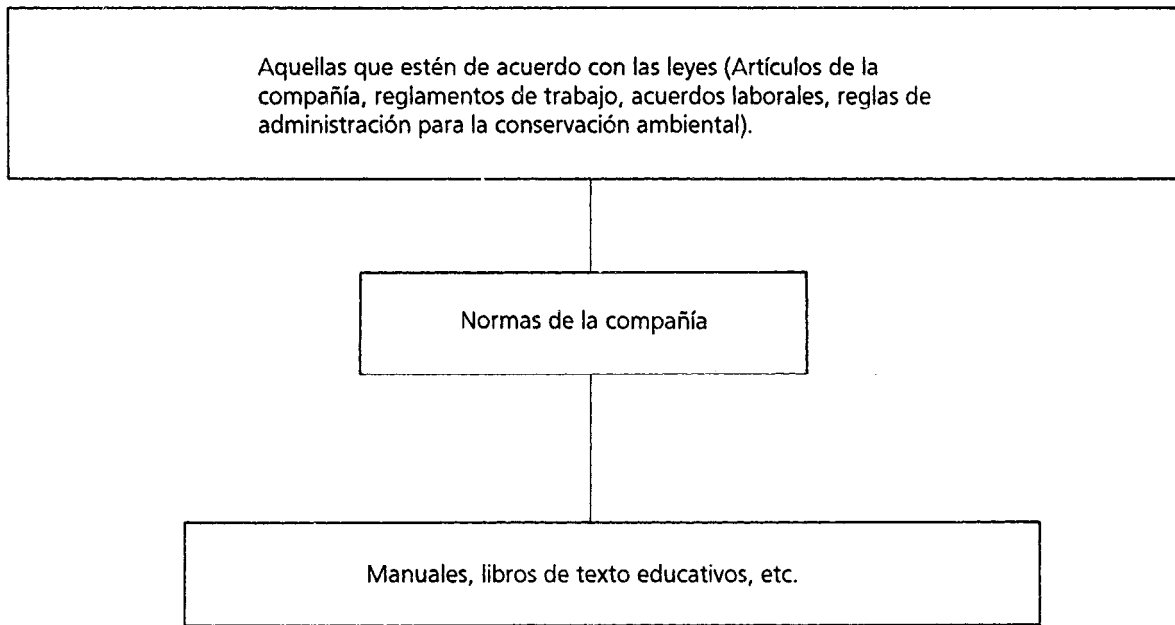


Fig. 2.5 Normas de la compañía dentro de los acuerdos en una empresa.

Algunos ejemplos de normas de asociación son los siguientes

API	Instituto Estadounidense del Petróleo
ASME	Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Manufactura
ASQC	Sociedad Estadounidense para el Control de la Calidad
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas de Materiales
FED. SPEC.	Norma Federal
IEEE	Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas
MIL-STD	Norma Militar

Todas estas entidades son asociaciones que realizan labor de normalización en Estados Unidos, país en el que principalmente se elaboran normas de asociación, aunque en la actualidad el Instituto Estadounidense de Normas (ANSI) está fungiendo como organismo coordinador para evitar duplicidad y traslape de los trabajos de normalización, elaborando normas de carácter nacional, camino que primordialmente han seguido otros países, como en los ejemplos mencionados a continuación:

BS	Norma británica
CS	Norma canadiense
DIN	Norma industrial alemana
JIS	Norma industrial japonesa
NF	Norma francesa

NOM	Norma oficial mexicana (obligatoria)
NMX	Norma mexicana (voluntaria)

Cuando algún producto es sometido a prueba y cumple con las especificaciones de la norma correspondiente, es frecuente que ostente un sello que asiente lo anterior. La figura 2.6 muestra algunos ejemplos. En la actualidad es común encontrar productos con más de un sello.



Fig. 2.6

Ejemplos de normas de carácter regional son las siguientes:

COPANT	Comisión Panamericana de Normas Técnicas
EN	Norma europea

La COPANT cuenta con 24 miembros, de los cuales 19 son miembros activos y cinco observadores; a continuación se listan (entre paréntesis están las iniciales que identifican al organismo normalizador correspondiente):

Brasil (ABNT); Estados Unidos (ANSI); Panamá (COPANT); Venezuela (COVENIN); México (DGN); Bolivia (DEGT); República Dominicana (DIGENOR); Centroamérica (ICAITI); Colombia (ICONTEC); Ecuador (INEN); Chile (INN); Costa Rica (INTECO); Paraguay (INTN); Argentina (IRAM); Perú (ITINTEC); Cuba (NC); Canadá (SCC); Trinidad y Tobago (TTBS); Uruguay (UNIT); España (AENOR); Francia (AFNOR); República Dominicana (INDOTEC); Portugal (IPQ), e Italia (UNI).

El Organismo Europeo de Normalización (CEN) tiene como miembros a las organizaciones nacionales de 18 países de la Comunidad Económica Europea y de la Asociación Europea de Libre Comercio, que son:

Alemania, Bélgica, Holanda, Finlandia, Grecia, Italia, España, Portugal, Francia, Irlanda, Reino Unido, Islandia, Luxemburgo, Checoslovaquia, Austria, Dinamarca, Liechtenstein y Suecia.

Al CEN competen las actividades normativas en todos los sectores, excluyendo el electrónico, competencia del CENELEC, y el de las telecomunicaciones, competencia del ETSI.

En Europa, para facilitar las cosas, se está promoviendo el uso de un sello que elimine la necesidad de aplicar un sello por país; este sello lo muestra la Fig. 2.7:



Fig. 2.7

Finalmente se tienen las normas internacionales ISO desarrolladas por comités técnicos en los que puede participar cualquier país miembro interesado en un tema para el cual un comité ha sido formado. Los anteproyectos de norma internacional adoptados por los comités técnicos son enviados a los miembros para que los aprueben antes de que sean aceptados como normas internacionales por el consejo de la ISO.

Un objeto de normalización puede pertenecer a varios niveles a la vez, o tender a pertenecer a varios; esta es una situación altamente deseable, por su influencia en las relaciones comerciales, que debemos promover como un objetivo básico de la normalización.

Una tendencia actual, justificada claro, es que las normas internacionales ISO sean adoptadas como normas nacionales, sobre todo en países subdesarrollados; esta propuesta es una posible solución a la carencia de normas en tales países, sólo si se planea paralelamente un proceso de asimilación; sin embargo, la forma lógica y natural de nacimiento y preparación de las normas es la siguiente: la norma de un producto o servicio puede provenir de una empresa, después ser aceptada por todo el grupo de empresas similares y posteriormente discutirse y aprobarse como una norma nacional; finalmente, la institución nacional de normalización puede proponerla como proyecto de norma internacional (ISO). Dándose en cada paso las modificaciones necesarias.

De entre los objetos de normalización, los productos (materias primas, subproductos y productos terminados) sujetos a normas de calidad han cobrado una gran importancia en la actualidad, debido a una serie de normas denominada ISO 9000 (9000, 9001, 9002, 9003 y 9004). Estas normas se instituyeron primero en Europa, pero rápidamente han sido adoptadas por casi todos los países industrializados del mundo, aunque la denominación cambia en cada país y escritas en diferentes idiomas expresan básicamente lo mismo que las ISO 9000.

La aplicación de estas normas en la industria ha hecho necesario certificar los sistemas de calidad de las empresas que así lo desean o a las cuales se lo solicitan sus clientes. Esta situación difiere en alcance a los sellos antes mencionados, ya que no indica que un producto cumple con las especificaciones de una norma, sino que todo el sistema de calidad de una empresa está diseñado para producir productos de alta calidad. (Fig. 2.8.)

Las normas ISO 9000 consideran, entre otros, los siguientes aspectos:

1. Responsabilidad de la administración.
2. Sistema de calidad.



3. Revisión de contrato.
4. Control de diseño.
5. Control de datos y documentos.
6. Compras.
7. Control de producto suministrado por el cliente.
8. Trazabilidad e identificación de productos.
9. Control de proceso.
10. Inspección y prueba.
11. Control de inspección y del equipo de medición y prueba.
12. Estado de inspección y prueba.
13. control de producto no conforme.
14. Acción correctiva y preventiva.
15. Manejo, Almacenamiento, empaque y entrega.
16. Registros de Control de Calidad.
17. Auditorías internas de calidad.
18. Capacitación y Entrenamiento.
19. Servicio.
20. Técnicas estadísticas.



Fig. 2.8

Actualmente, los países que han adoptado las normas ISO 9000 han creado organismos certificadores, encargados de comprobar que una compañía determinada cumple con los requisitos establecidos.

## PRINCIPIOS CIENTÍFICOS DE LA NORMALIZACIÓN

### Principios generales

La normalización, como cualquier disciplina científica y tecnológica, cuenta con sus principios, los cuales tienen como característica principal darle orientación y flexibilidad al proceso normativo para que éste pueda adaptarse a las necesidades del momento y no constituir una traba en el futuro. La experiencia ha permitido establecer tres principios, en los cuales coinciden agentes de diferentes lugares y épocas:

- Homogeneidad
- Equilibrio
- Cooperación

### *Homogeneidad*

Cuando se va a elaborar o adoptar una norma, ésta debe integrarse perfectamente a las normas existentes sobre el objeto normalizado, tomando en cuenta la tendencia evolutiva para no obstruir futuras normalizaciones.

Es fácil concebir la perfecta homogeneidad entre las normas de una empresa, pero también debe serlo cuando se trate de las normas de diferentes empresas, ya que ninguna industria se basta a sí misma. La interdependencia entre empresas obliga a homogeneizar las normas; así como ninguna empresa vive aislada, ninguna nación puede vivir aislada ni permanecer fuera de los intercambios internacionales, por tanto, es muy conveniente buscar una mayor homogeneidad en el plano internacional. De esta manera el normalizador adquiere una nueva responsabilidad: desarrollar, en todo lo posible, por medio de la normalización, la exportación de los productos de su país o empresa.

### *Equilibrio*

La normalización debe ser una tarea eminentemente práctica, y sus resultados, las normas, deben ser instrumentos ágiles de aplicación inmediata; también deben poder modificarse en cualquier momento, cuando el avance técnico, las posibilidades económicas o ambos así lo aconsejen.

La normalización debe lograr un estado de equilibrio entre el avance tecnológico mundial y las posibilidades económicas del país o región. Una norma que establece el estado más avanzado del progreso técnico no servirá si está fuera de las posibilidades económicas de una empresa o país.

Las mejores normas son aquellas que aun cuando evidencien la situación económica, y por lo tanto el atraso tecnológico, garanticen un amplio uso del objeto normalizado: esta garantía no debe ser por tiempo indefinido, pues una empresa que se estanca tiende a desaparecer. La norma debe ser un documento realista, pero cuando la realidad es de atraso, esto debe ser un acicate para el progreso, y cuando cambian las condiciones es necesario establecer el nuevo estado de equilibrio.

Estos objetivos exigen una labor permanente del normalizador, y podemos agregar que las normas deben estar basadas en los datos más útiles y en los métodos que hayan merecido la consagración de la práctica y la experiencia.

### *Cooperación*

La normalización es un trabajo de conjunto y las normas se deben establecer con el acuerdo y cooperación de todos los factores involucrados, es decir:

Interés general  
Compradores o usuarios  
Fabricantes

### *Interés general*

Este sector lo componen los representantes de instituciones científicas y técnicas, de universidades y de todas aquellas entidades que están fuera de los intereses de compra-venta, pero que tienen alguna relación con el objeto por normalizar.

El resultado de una normalización hecha sólo por este sector será una norma teórica, que por lo general rebasa las posibilidades económicas, lo que está en contra del principio de equilibrio. Las normas deben tener bases científicas, pero deben ser eminentemente prácticas.

### *Compradores o usuarios*

La normalización llevada a cabo únicamente por este grupo reproduce, con mayor gravedad, los inconvenientes del primero. Los consumidores, que desconocen las posibilidades industriales, estarán tentados a exigir una calidad difícil de alcanzar, y pueden provocar, sin proponérselo, un encarecimiento innecesario de los productos al tratar de imponer exigencias difíciles de cumplir.

### *Fabricantes*

Podemos decir que éste es el grupo más conocedor del producto y, por lo tanto, la opinión más autorizada; sin embargo, se presenta el hecho de que en la normalización en la cual sólo intervienen los fabricantes, éstos asuman la doble tarea de elaborar el producto y juzgarlo. Se corre el peligro de que el fabricante se pueda ver tentado a establecer niveles más bajos de los alcanzables, lo que provocaría perjuicios para el usuario, quien no podría ser el acicate que obligue al fabricante a superarse permanentemente.

Este punto es la normalización de empresa corresponde al estudio de mercado, lo que en empresas bien organizadas constituye una práctica común cuando se va a fabricar un nuevo producto.

No olvidemos que el producto está destinado al usuario y que no puede negársele a éste el derecho a exponer su opinión, la cual por lo general beneficiará al fabricante. De esto se deduce que la normalización es un trabajo de equipo, en donde deben estar representados todos los interesados: productores, compradores y sector de interés general.

En algunos países es muy común la *adopción* de normas, o más bien la copia de normas; el desconocimiento o desprecio de los principios generales es la causa de la ineffectividad de una norma, de las violaciones y, por qué no decirlo, de la falta de confianza en estos documentos. En consecuencia, tanto la elaboración como la adopción de una norma deben ser producto del análisis y la crítica

basados en la aplicación de estos tres principios: Homogeneidad, equilibrio, cooperación

## ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA NORMALIZACIÓN

El objetivo fundamental de la normalización es elaborar normas que permitan controlar y obtener un mayor rendimiento de los materiales y de los métodos de producción, contribuyendo así a lograr un nivel de vida mejor.

Las normas, producto de esta actividad deben comprender tres aspectos fundamentales:

- La simplificación
- La unificación
- La especificación

### Simplificación

Un mismo producto puede hacerse de muchas maneras y, no obstante, ser apto para el uso que se le ha asignado. Siempre es posible suprimir parte de las formas que responden al capricho, la fantasía o a la falta de comunicación entre diseñador y usuario.

La selección de un tipo de producto y la supresión de los que se consideran menos adecuados reduce gastos, lo que se traduce en ganancia de tiempo y dinero; menos modelos significa evitar la repetición de estudios y diseños, mayor facilidad en los métodos de producción, menos equipo y herramienta, manejo de menor cantidad de materiales e inventarios reducidos.

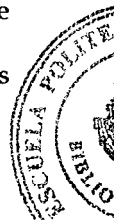
El estudio de los modelos existentes y probables y la eliminación de los que no son indispensables corresponde a la *simplificación*. Ésta constituye un estudio serio y preciso que consiste en una ordenación racional y sistemática para eliminar todo lo que es fruto de la improvisación, capricho o ignorancia. El tipo o tipos de productos seleccionados deben resistir la confrontación con el uso; un tipo normalizado que no resulte apto ni sea considerado como el mejor debe eliminarse inmediatamente. Normalizar significa simplificar, y simplificar significa seleccionar materiales.

### Unificación

Otro aspecto fundamental dentro de las normas es el conjunto de medidas necesarias para conseguir la intercambiabilidad y la interconexión de las piezas. La unificación conduce a la identidad de formas y dimensiones en tornillos, tomacorrientes, conexiones, accesorios, tuercas, etcétera.

La intercambiabilidad e interconexión en sistemas, equipos, aparatos, etcétera, puede asegurarse únicamente con ciertas medidas sin que esto signifique la uniformidad de todo el órgano.

La unificación significa definir las tolerancias de fabricación; unificar es definir las características dimensionales.



La simplificación y la unificación se refieren de manera directa a las formas y dimensiones, aspectos muy importantes de los materiales, pero que por sí solas no conducen a una calidad integral, ya que no valdría la pena lograr formas y dimensiones o demandas si la resistencia de los materiales no sirve o es de una calidad deficiente.

### **Especificación**

El complemento en una norma corresponde a la *especificación*, la cual tiene por objeto definir la calidad de los productos, es decir, establecer las exigencias significativas de calidad y sus métodos de comprobación, por tanto, especificar es definir la calidad por métodos reproducibles y comprobables.

Las especificaciones son la parte medular de las normas y deben llenar los requisitos que enseguida se enumeran.

#### *Especificaciones*

1. La especificación debe tener una relación directa con el uso que se le ha asignado al producto o servicio o bien con la fabricación o suministro.
2. Deben especificarse siempre las tolerancias; en más, en menos o en más/menos.
3. Deben preferirse las especificaciones cuantitativas a las cualitativas.
4. Las especificaciones deben ser concretas, completas, inequívocas, explícitas, inteligibles y sistemáticas.
5. Deben omitirse requisitos irreales o contradictorios.
6. Cada especificación debe tener un método de comprobación.
7. Deben preferirse los métodos de comprobación a corto plazo, sobre los de larga duración, y los métodos no destructivos sobre los destructivos.

Como cualquier disciplina, la normalización cuenta con una metodología. Ésta se fundamenta en los tres principios generales ya mencionados y se puede resumir en los pasos enumerados a continuación:

### **METODOLOGÍA DE LA NORMALIZACIÓN**

1. Investigación bibliográfica e industrial.
2. Elaboración de un anteproyecto de norma basándose en los datos obtenidos.
3. Confrontación de este anteproyecto con la opinión de los sectores comprador, productor y de interés general, hasta llegar a un acuerdo.
4. Promulgación de la norma.
5. Confrontación con la práctica.

Si tomamos en cuenta que la normalización es “el proceso de *elaboración y aplicación* de las normas” y que hemos cumplido con la elaboración, la aplicación corresponde al *control de calidad*, cuya aplicación ayuda a la mejoría de las normas en un proceso de retroalimentación.

En general, la introducción de una norma en cualquier actividad necesita esfuerzos de adaptación; en el orden técnico, económico y administrativo, estos esfuerzos se justifican por las ventajas que a corto y a largo plazo benefician a los productores, los consumidores y la economía nacional.

### **LA NORMA DE NORMAS**

Un documento de primordial importancia en los procesos normativos es la existencia de una norma para hacer normas, cuya principal función es homogeneizar la producción de normas en cuanto a su contenido y la secuencia de sus capítulos.



# Metrología dimensional

Metrología es la ciencia que trata de las medidas, de los sistemas de unidades adoptados y los instrumentos usados para efectuarlas e interpretarlas. Abarca varios campos, tales como metrología térmica, eléctrica, acústica, dimensional, etcétera.

La metrología dimensional se encarga de estudiar las técnicas de medición que determinan correctamente las magnitudes lineales y angulares (longitudes y ángulos).

La inspección de una pieza como la que ilustra la figura 3.1 cae dentro del campo de la metrología dimensional; su objetivo es determinar si cualquier pieza fabricada con tal dibujo conforma con las especificaciones del mismo.

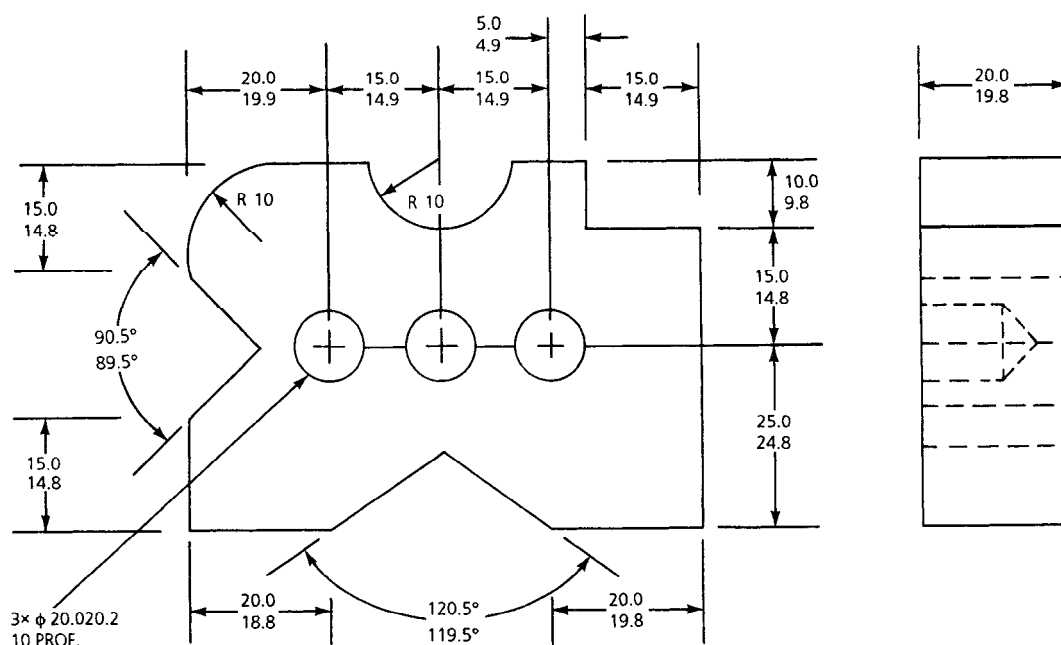


Fig. 3.1

Medida es la evaluación de una magnitud hecha según su relación con otra magnitud de la misma especie adoptada como unidad. Tomar la medida de una magnitud es compararla con la unidad de su misma especie para determinar cuántas veces ésta se halla contenida en aquélla. La metrología dimensional se aplica en la medición de longitudes (exteriores, interiores, profundidades, alturas) y ángulos, así como de la evaluación del acabado superficial.



La medición se puede dividir en directa (cuando el valor de la medida se obtiene directamente de los trazos o divisiones de los instrumentos) o indirecta (cuando para obtener el valor de la medida necesitamos compararla con alguna referencia), el cuadro 3.1 da una relación de las medidas y los instrumentos.

**Cuadro 3.1.** Clasificación de instrumentos y aparatos de medición en metrología dimensional

Lineal	Medida directa	Con trazos o divisiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metro</li> <li>Regla graduada</li> <li>Todo tipo de calibradores y medidores de altura con escala Verni8er</li> </ul>
		Con tornillo micrométrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Todo tipo de micrómetros</li> <li>Cabezas micrométricas</li> </ul>
		Con dimensión fija	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bloques patrón</li> <li>Calibradores de espesores (laminas)</li> <li>Calibradores límite (pasa-no pasa)</li> </ul>
	Medida indirecta	Comparativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparadores mecánicos</li> <li>Comparadores ópticos</li> <li>Comparadores neumáticos</li> <li>Comparadores electromecánicos</li> <li>Máquina de medición de redonez</li> <li>Medidores de espesor de recubrimiento</li> </ul>
		Trigonometría	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esferas o cilindros</li> <li>Máquinas de medición por coordenadas</li> </ul>
		Relativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niveles</li> <li>Reglas ópticas</li> <li>Rugosímetros</li> </ul>
	Medida directa	Con trazos o divisiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transportador simple</li> <li>Goniómetro</li> <li>Escuadra de combinación</li> </ul>
		Con dimensión fija	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escuadras</li> <li>Patrones angulares</li> <li>Calibradores cónicos</li> </ul>
Angular	Medida indirecta	Trigonométrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falsas escuadras</li> <li>Regla de senos</li> <li>Mesa de senos</li> <li>Máquinas de medición por coordenadas</li> </ul>

La inspección de una pieza como la ilustrada en la figura 3.2 que indica, además de las dimensiones lineales y angulares, tolerancia geométrica, también corresponde a la metrología dimensional, dado que se realizará con instrumentos como los que se mencionaron en el cuadro 1 (por esta razón a la metrología dimensional a veces se le denominará también geométrica).

Sin embargo, se requiere conocer la simbología involucrada, su interpretación y cómo determinar si tales tolerancias se cumplen.

Tolerancia geométrica es el término general aplicado a la categoría de tolerancias utilizadas para controlar forma, orientación, localización y cabeceo (Runout).

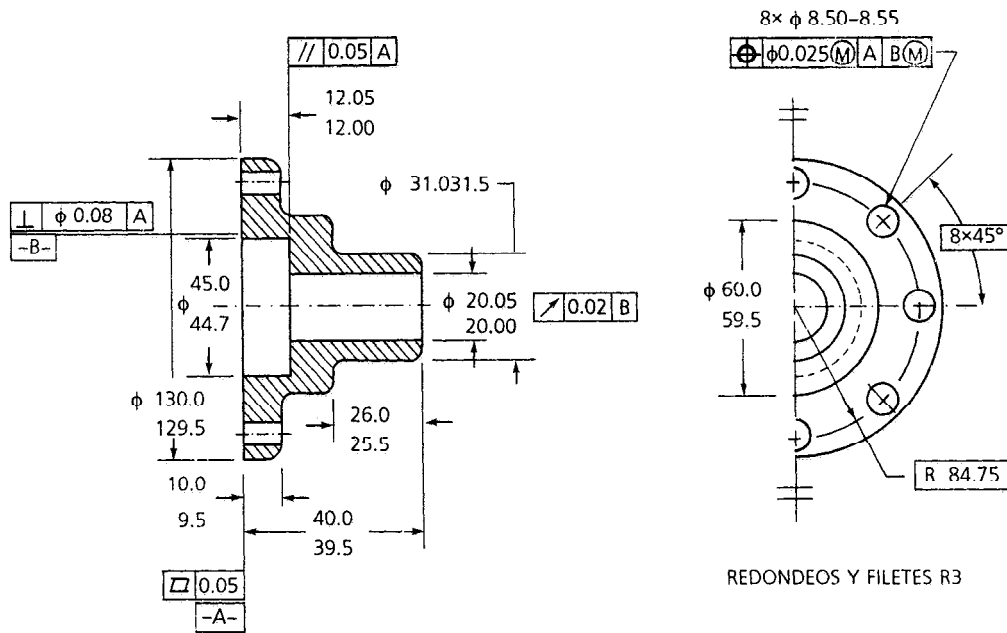


Fig. 3.2 (Únicamente ilustrativa).

La tabla 3.1 resume la simbología básica tal como la define la norma ISO 1101. También es importante identificar bajo qué norma está hecho un dibujo, así como la revisión correspondiente (año, ya que, como un ejemplo, podemos mencionar que en la norma ANSI Y14.5M-1994 no se contempla la característica de simetría (que antes se consideraba) y en su lugar se utiliza la de posición. Un ejemplo más: en las especificaciones de ingeniería de General Motors no se considera la característica de concentricidad.

En el presente texto sólo se dan algunas definiciones y ejemplos de aplicación de las tolerancias geométricas, por lo que en caso necesario se recomienda recurrir directamente a las normas o textos que existen sobre el tema.

**Tabla 3.1.** Símbolos para características geométricas.

Características y tolerancias		Características	Símbolos
Características individuales	Tolerancias de forma	Rectitud	—
		Planitud	
		Redondez	
		Cilindricidad	
		Perfil de una línea	
Características individuales o relacionadas		Perfil de una superficie	
Características relacionadas	Tolerancias de orientación	Paralelismo	//
		Perpendicularidad	
		Angularidad	
	Tolerancias de localización	Posición	
		Concentricidad o coaxialidad	
		Simetría	
	Tolerancias de cabeceo (Runout)	Cabeceo circular	
		Cabeceo total	

**NORMAS DE REFERENCIA:**

ANSI Y14.5M-1994

ISO 1101 ISO 2692 ISO 5458 ISO 5459 ISO 7083 ISO 8015

JIS B0021 JIS B0022 JIS B0023 JIS B0623

DIN ISO 1101 DIN 7167 DIN 7168 DIN ISO 5459

BS 308

## Sistemas de unidades de medida

### INTRODUCCIÓN

Un sistema de unidades de medida es un conjunto de unidades confiables, uniformes y adecuadamente definidas que sirven para satisfacer las necesidades de medición.

En Francia, a fines del siglo XVIII, se estableció el primer sistema de unidades de medida: el Sistema Métrico. Este sistema presentaba un conjunto de unidades coherentes para las medidas de longitud, volumen, capacidad y masa, y estaba basado en dos unidades fundamentales: el metro y el kilogramo. Su variación es decimal.

Posteriormente aparecieron varios sistemas de unidades aplicables a algunas de las actividades más desarrolladas, como la de los físicos, los mecánicos, etcétera, pero el empleo en la práctica de algunos de estos sistemas conducían a dificultades considerables por la compleja conversión de un sistema a otro y por la utilización de un gran número de factores de conversión. Ante esta situación el Comité Consultivo de Unidades, integrado por el Comité Internacional de la Conferencia General de Pesas y Medidas, se dedicó a la tarea de crear un Sistema Único Internacional. Para ello analizó los tipos de sistemas de unidades existentes y adoptó unos cuyas unidades fundamentales son el metro, el kilogramo y el segundo. Este sistema ahora se conoce como Sistema MKS.

El Sistema MKS se aceptó, con ligeras modificaciones, en la XI Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en 1960 como el Sistema Internacional de Unidades, abreviado como SI.

El SI es resultado de un largo trabajo que comenzó en Francia hace más de un siglo y que continuó internacionalmente para poner a disposición de todos los hombres un conjunto de unidades confiables y uniformes.

El Sistema Internacional está basado en siete unidades fundamentales, y cinco suplementarias; además, define 19 unidades derivadas, aunque son muchas las que se establecen simplemente como consecuencia y por la simple aplicación de las leyes de la física y de los principios del antiguo sistema métrico.

Existen algunas unidades que no pertenecen al SI aunque son de uso común. Por diversas razones la CGPM las ha clasificado en tres categorías: unidades que se mantienen, unidades que se mantienen temporalmente y otras unidades.

A continuación se definen algunas unidades del SI comúnmente utilizadas en metrología dimensional. Información sobre otras unidades y sistemas de unidades, así como sobre factores de conversión, se dan al principio de la segunda parte del presente texto.

Longitud	Metro (símbolo m) Unidad base El metro es la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío, durante un lapso de $1/299792458$ de segundo (17a CGPM-1984)
Ángulo plano	Radián (símbolo rad) Unidad suplementaria El radián es el ángulo plano comprendido entre dos radios de un círculo que interceptan, sobre la circunferencia de este círculo, un arco de longitud igual a la del radio (recomendación ISO-R31/1)
Temperatura termodinámica	Kelvin (símbolo K) Unidad base El Kelvin es la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (13a. CGPM-1967)
Masa	Kilogramo (símbolo kg) Unidad base El kilogramo es la masa igual a la del prototipo internacional del kilogramo (1ª, 3ª CGPM-1829 y 1901)
Fuerza	Newton (símbolo N) Unidad derivada
Tiempo	Segundo (símbolo s) Unidad base El segundo es la duración de 9192631770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del átomo de cesio 133 (13ª CGPM-1967)

**Tabla 4.1** Unidades que se mantienen

<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Equivalencia</i>
Ángulo	grado	°	$\pi/180$ rad
	minuto	'	$\pi/10800$ rad
	segundo	"	$\pi/648000$ rad
Tiempo	minuto	min	60 s
	hora	h	3600 s
	día	d	86400 s

Ejemplo de unidad SI derivada sin nombre especial. Para superficie se utiliza el metro cuadrado, símbolo  $m^2$ .

## Múltiplos y submúltiplos de las unidades del SI

El metro, unidad fundamental del sistema, corresponde a la escala de lo que mide el hombre en la vida diaria; por ejemplo, casas, edificios y distancias cortas. Sin embargo, aunque con menos frecuencia, tienen que medirse otras longitudes para las que el metro resulta demasiado pequeño o demasiado grande. Por ejemplo, el metro es muy pequeño para expresar la distancia entre la Ciudad de México y París, ya que se requeriría una cifra demasiado grande; en cambio, resulta muy grande para expresar el diámetro de una canica. Ocurre lo mismo con todas las unidades del SI.

Considerando lo anterior, se decidió establecer múltiplos y submúltiplos comunes a todas las unidades y expresarlos con prefijos convencionales de aceptación universal. Para evitar confusiones, del griego tomaron los prefijos para formar los múltiplos (kilo, mega, giga, etc.), y del latín los prefijos para formar los submúltiplos (mili, micro, nano, etc.).

Estos prefijos se agregan a la unidad y forman palabras fáciles de identificar para designar a los múltiplos y a los submúltiplos. Por tanto, se tiene como múltiplos del metro, el kilómetro, equivalente a 1000 metros; el megámetro, equivalente a 1 000 000 metros; el gigámetro, equivalente a 1 000 000 000 metros, y los demás que se mencionarán más adelante. Los submúltiplos del metro son el milímetro, equivalente a la milésima parte de un metro; el micrómetro, equivalente a la millonésima parte de un metro; el nanómetro, equivalente a la millonésima parte de un metro, y los demás que más adelante se verán.

Lo interesante de los prefijos es que, como se dijo, son comunes o aplicables a todas las unidades del SI, por lo que puede hablarse de miligramos, mililitros, miliamperes, milipascas, etcétera.

Los múltiplos comunes con el prefijo kilo y submúltiplo común con el prefijo mili, bastan para la medición de las magnitudes más grandes y la más pequeña que la mayoría de la gente necesita. Los científicos y los técnicos requieren prefijos adicionales porque en ocasiones se ocupan de magnitudes extremadamente grandes, como las dimensiones interplanetarias y las masas de las estrellas, o de magnitudes en extremo pequeñas, como el tamaño de un átomo o de un protón.

Por esa razón se han establecido también prefijos para formar unidades derivadas extremadamente grandes o pequeñas. En la tabla 4.2 se presentan los prefijos y su equivalencia y símbolos.

En metrología dimensional sólo son útiles algunos de los submúltiplos, dado que en los dibujos de ingeniería la unidad más comúnmente utilizada es el milímetro. La tabla 4.3 muestra estos submúltiplos y su campo de aplicación.



Tabla 4.2.

Nombre	Símbolo	Valor
Yotta	Y	1,000,000,000,000,000,000,000,000 o sea ( $10^{24}$ )
Zetta	Z	1,000,000,000,000,000,000,000,000 o sea ( $10^{21}$ )
exa	E	1,000,000,000,000,000,000,000 o sea ( $10^{18}$ )
peta	P	1,000,000,000,000,000,000 o sea ( $10^{15}$ )
tera	T	1,000,000,000,000,000 o sea ( $10^{12}$ )
giga	G	1,000,000,000 o sea ( $10^9$ )
mega	M	1,000,000 o sea ( $10^6$ )
kilo	K	1,000 o sea ( $10^3$ )
hecto*	H	100 o sea ( $10^2$ )
deca*	D	10 o sea ( $10^1$ )
unidad		1 o sea ( $10^0$ )
deci*	d	0.1 o sea ( $10^{-1}$ )
centi*	c	0.01 o sea ( $10^{-2}$ )
mili	m	0.001 o sea ( $10^{-3}$ )
micro	$\mu$	0.000,001 o sea ( $10^{-6}$ )
nano	n	0.000,000,001 o sea ( $10^{-9}$ )
pico	p	0.000,000,000,001 o sea ( $10^{-12}$ )
femto	f	0.000,000,000,000,001 o sea ( $10^{-15}$ )
atto	a	0.000,000,000,000,000,001 o sea ( $10^{-18}$ )
zepto	z	0.000,000,000,000,000,000,001 o sea ( $10^{-21}$ )
yocto	y	0.000,000,000,000,000,000,000,001 o sea ( $10^{-24}$ )

\*En el SI se desanima el uso de estos múltiplos y submúltiplos.

Tabla 4.3

1 metro = 1 m	0.1 m		Uso general
	0.01 m		
1 milímetro = 1 mm =	0.001 m		Uso industrial
	0.0001 m	= 0.1 mm	
	0.00001 m	= 0.01 mm	
1 micrómetro = 1 $\mu$ m =	0.000001 m	= 0.001 mm	
Uso en laboratorios de calibración	0.0000001 m	= 0.0001 mm	= 0.1 $\mu$ m
	0.00000001 m	= 0.00001 mm	= 0.01 $\mu$ m
1 nanómetro = 1 nm =	0.000000001 m	= 0.000001 mm	= 0.001 $\mu$ m
Uso en laboratorios con patrones primarios NIST, NRLM, BIPM, PTB, CENAM, etcétera.			

Existe también el denominado sistema inglés, que en la actualidad es empleado en forma casi exclusiva en Estados Unidos, aunque por su influencia se usa en otros países. Sin embargo, en Estados Unidos se están haciendo esfuerzos para adoptar el SI, pero dado que el cambio no es obligatorio transcurrirán varios años antes de que se deje de usar el sistema inglés.

Aun en los países que han adoptado oficialmente el SI éste no se usa en su totalidad, sino que se utilizan algunas unidades precursoras del actual SI.

En el sistema inglés las unidades base son la yarda (longitud), la libra (masa) y el segundo (tiempo).

Como submúltiplos de la yarda se tiene:

1 yarda = 3 pies

1 pie = 12 pulgadas

En el pasado se utilizaba la pulgada fraccional, pero ha ido cayendo en desuso; en su lugar ahora se utiliza la pulgada decimal, que es la unidad más comúnmente utilizada en los dibujos de ingeniería hechos siguiendo el sistema inglés.

La tabla 4.4 muestra la pulgada decimal y sus submúltiplos decimales con su campo de aplicación; por definición se tiene que una pulgada es exactamente igual a 25.4 mm. por lo que multiplicando las pulgadas por 25.4 se obtienen milímetros y dividiendo los milímetros entre 25.4 se obtienen pulgadas.

**Tabla 4.4.**

1 pulgada decimal	= 1 pulg		
1/10 pulg	= .1 pulg	= 1 décima	
1/100 pulg	= .01 pulg	= 1 centésima	
1/1000 pulg	= .001 pulg	= 1 milésima	
1/10 000 pulg	= .0001 pulg	= 1 diezmilésima	
Uso en laboratorios de calibración	.00001 pulg .000001 pulg	= 1 cienmilésima = 1 millonésima	= 1 $\mu$ pulg = 1 micropulg
	.0000001 pulg	= 1 diezmillonésima	= .1 $\mu$ pulg
Uso en laboratorios con patrones primarios NIST, NRLM, BIPM, PTB, CENAM, etcétera.			

Otros factores de conversión útiles son:

1 yarda = 3 pies

1 pie = 12 pulgadas

1 libra = 16 onzas

1 libra = 0.4536 kg

Se dan a continuación algunos ejemplos prácticos de transformación de unidades.

Convertir en los siguientes ejemplos:

1) 3.718 pulg a mm

Planteando una regla de tres simple

25.4 ——— 1.000 pulg.

$\times$  mm ——— 3.718 pulg.

despejando  $\times = \frac{25.4 \text{ mm} \times 3.718 \text{ pulg.}}{1.000 \text{ pulg.}} = 94.437 \text{ mm}$



$$25.4 \text{ mm} \times 3.718 \text{ pulg} = 94.437 \text{ mm}$$

- 2) 2 ft 3 pulg 35/128 a mm

Primero transformaremos todo a pulg en sistema decimal (no fracciones).

2 ft × 12	=	24.	pulg
3 pulg	=	3.	pulg
35/128	=	<u>0.2734</u>	pulg
		27.2734	pulg

$$25.4 \times 27.2734 \text{ pulg} = 692.744 \text{ mm}$$

- 3) El diámetro de un círculo es de 2.325 pulg, queremos saber el área en mm<sup>2</sup>. Transformamos primero a mm los 2.325 pulg.

$$25.4 \times 2.325 \text{ pulg} = 59.055 \text{ mm}$$

La fórmula del área de un círculo es:

$$A = \pi r^2$$

$$r = \frac{d}{2} = \frac{59.055 \text{ mm}}{2} = 29.5275 \text{ mm}$$

Sustituyendo

$$\begin{aligned} A &= 3.1416 \times (29.5275 \text{ mm})(29.5275 \text{ mm}) \\ &= 3.1416 \times 871.87326 \text{ mm}^2 \\ &= 2739.077 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- 4) Cuánto es una milésima de pulgada en milímetros

$$.001 \text{ pulg} \times 25.4 = 0.0254 \text{ mm}$$

- 5) Convertir 32.017 mm a pulg.

$$\frac{32.017 \text{ mm}}{25.4} = 1.2605 \text{ pulg}$$

- 6) ¿Cuánto es 1 μm en pulgadas?

$$1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm}$$

$$\frac{0.001 \text{ mm}}{25.4 \text{ mm}} = .00003937 \text{ pulg}$$

7) ¿Cuánto es 34.225 mm a pulg.?

convertimos los milímetros a pulgadas

$$\frac{34.225 \text{ mm}}{25.4} = 1.3474 \text{ pulg.}$$

8) ¿Cuánto es 0.112 pulg en  $\mu\text{m}$ ?

convertimos las pulg a mm

$$0.112 \text{ pulg} \times 25.4 = 2.8448 \text{ mm}$$

$$= 2844.8 \mu\text{m}$$

9) ¿Cuánto es 1650  $\mu\text{pulg}$  en  $\mu\text{m}$ ?

$$1650 \mu\text{pulg} = 0.00165 \text{ pulg}$$

convertimos las pulg a mm

$$0.00165 \text{ pulg} \times 25.4 = 0.04191 \text{ mm}$$

$$= 41.91 \mu\text{m}$$

10) ¿Cuánto es 223  $\mu\text{m}$  en  $\mu\text{pulg}$

$$223 \mu\text{m} = 0.223 \text{ mm}$$

convertimos a pulg

$$\frac{0.223 \text{ mm}}{25.4} = 0.00878 \text{ pulg}$$

$$= 8780 \mu\text{pulg}$$



## Errores en la medición

### INTRODUCCIÓN

Al hacer mediciones, las lecturas que se obtienen nunca son exactamente iguales, aun cuando las efectúe la misma persona, sobre la misma pieza, con el mismo instrumento, el mismo método y en el mismo ambiente (repetibilidad); si las mediciones las hacen diferentes personas con distintos instrumentos o métodos o en ambientes diferentes, entonces las variaciones en las lecturas son mayores (reproducibilidad). Esta variación puede ser relativamente grande o pequeña, pero siempre existirá.

En sentido estricto, es imposible hacer una medición totalmente exacta, por lo tanto, siempre se enfrentarán errores al hacer las mediciones. Los errores pueden ser despreciables o significativos, dependiendo, entre otras circunstancias de la aplicación que se le dé a la medición.

Los errores surgen debido a la imperfección de los sentidos, de los medios, de la observación, de las teorías que se aplican, de los aparatos de medición, de las condiciones ambientales y de otras causas.

### MEDIDA DEL ERROR

En una serie de lecturas sobre una misma dimensión constante, la inexactitud o incertidumbre<sup>1</sup> es la diferencia entre los valores máximo y mínimo obtenidos.

$\text{Incertidumbre} = \text{valor máximo} - \text{valor mínimo}$

El error absoluto es la diferencia entre el valor leído y el valor convencionalmente verdadero correspondiente.

$\text{Error absoluto} = \text{valor leído} - \text{valor convencionalmente verdadero}$

Sea, por ejemplo, un remache cuya longitud es 5.4 mm y se mide cinco veces sucesivas, obteniéndose las siguientes lecturas:

5.5; 5.6; 5.5; 5.6; 5.3 mm

La incertidumbre será:

<sup>1</sup> Dado el nivel del presente texto, la definición de incertidumbre se da de una manera muy simple, para un tratamiento formal se recomienda consultar la siguiente referencia.

Guide to the expression of uncertainty in measurement (1993) preparada conjuntamente por expertos del BIPM (Bureau International des Poids et Mesure), el (International Electrotechnical Commission), la ISO (International Organization for Standardization) y OIML (International Organization of Legal Metrology).

$$\text{Incertidumbre} = 5.6 - 5.3 = 0.3 \text{ mm}$$

Los errores absolutos de cada lectura serían:

$$5.5 - 5.4 = 0.1 \text{ mm}; 5.6 - 5.4 = 0.2 \text{ mm}; 5.5 - 5.4 = 0.1 \text{ mm}$$

$$5.6 - 5.4 = 0.2 \text{ mm}; 5.3 - 5.4 = -0.1 \text{ mm}$$

El signo nos indica si la lectura es mayor (signo +) o menor (signo -) que el valor convencionalmente verdadero.

El error absoluto tiene las mismas unidades de la lectura.

El error relativo es el error absoluto entre el valor convencionalmente verdadero.

Y como el error absoluto es igual a la lectura menos el valor convencionalmente verdadero, entonces:

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{valor convencionalmente verdadero}}$$

Y como el error absoluto es igual a la lectura menos el valor convencionalmente verdadero, entonces:

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{valor leído} - \text{valor convencionalmente verdadero}}{\text{valor convencionalmente verdadero}}$$

Con frecuencia, el error relativo se expresa en porcentaje multiplicándolo por cien.

En el ejemplo anterior los errores relativos serán:

$$0.1/5.4 = 0.0185 = 1.85\% \quad 0.2/5.4 = 0.037 = 3.7\%$$

$$0.1/5.4 = 0.0185 = 1.85\% \quad 0.2/5.4 = 0.037 = 3.7\%$$

$$-0.1/5.4 = -0.0185 = -1.85\%$$

El error relativo proporciona mejor información para cuantificar el error, ya que un error de un milímetro en la longitud de un rollo de lámina y en el diámetro de un tornillo tienen diferente significado.

## CLASIFICACIÓN DE ERRORES EN CUANTO A SU ORIGEN

Atendiendo al origen donde se produce el error, puede hacerse una clasificación general de éstos en: errores causados por el instrumento de medición, causados por el operador o el método de medición (errores humanos) y causados por el medio ambiente en que se hace la medición.

### Errores por el instrumento o equipo de medición

Las causas de errores atribuibles al instrumento, pueden deberse a defectos de fabricación (dado que es imposible construir aparatos perfectos). Éstos pueden ser deformaciones, falta de linealidad, imperfecciones mecánicas, falta de paralelismo, etcétera.

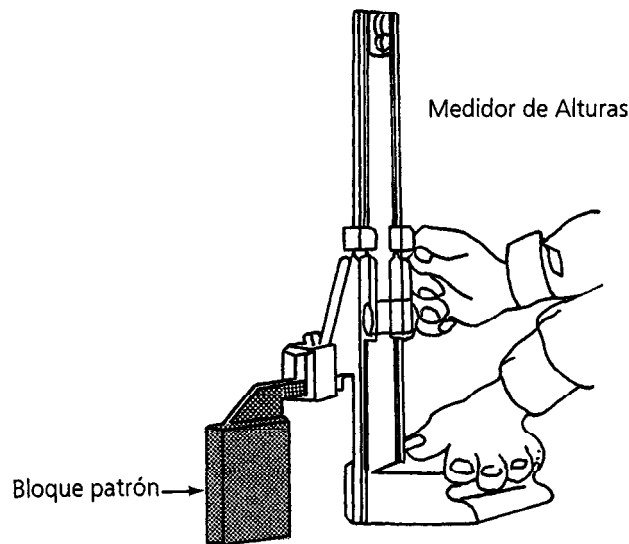


Figura 5.1.

El error instrumental tiene valores máximos permisibles, establecidos en normas o información técnica de fabricantes de instrumentos, y puede determinarse mediante calibración. Ésta es la comparación de las lecturas proporcionadas por un instrumento o equipo de medición contra un patrón de mayor exactitud conocida. (Véase la figura 5.1.)

Debe contarse con un sistema de control que establezca, entre otros aspectos, periodos de calibración, criterios de aceptación y responsabilidades para la calibración de cualquier instrumento y equipo de medición.

### **Errores del operador o por el método de medición**

Muchas de las causas del error aleatorio se deben al operador, por ejemplo: falta de agudeza visual, descuido, cansancio, alteraciones emocionales, etcétera. Para reducir este tipo de errores es necesario adiestrar al operador:

Otro tipo de errores son debidos al método o procedimiento con que se efectúa la medición, el principal es la falta de un método definido y documentado.

Los errores mencionados en los siguientes párrafos debe conocerlos y controlarlos el operador.

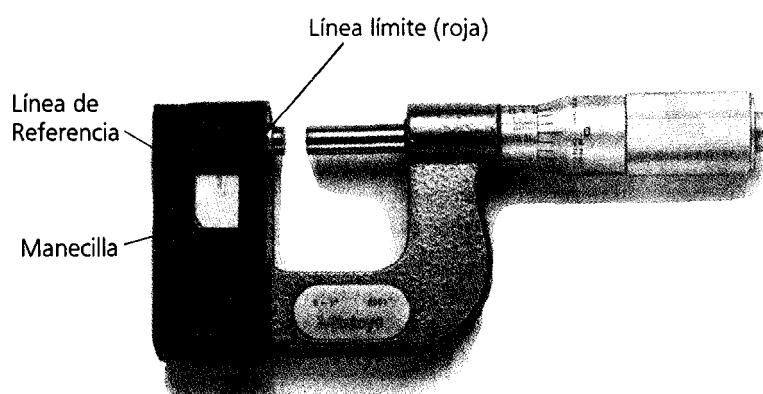
#### ***Error por el uso de instrumentos no calibrados***

Instrumentos no calibrados o cuya fecha de calibración está vencida, así como instrumentos sospechosos de presentar alguna anomalía en su funcionamiento no deben utilizarse para realizar mediciones hasta que no sean calibrados y autorizados para su uso.

Para efectuar mediciones de gran exactitud es necesario corregir las lecturas obtenidas con un instrumento o equipo de medición, en función del error instrumental determinado mediante calibración.

### ***Error por la fuerza ejercida al efectuar mediciones***

La fuerza ejercida al efectuar mediciones puede provocar deformaciones en la pieza por medir, el instrumento o ambos, por lo tanto es un factor importante que debe considerarse para elegir adecuadamente el instrumento de medición para cualquier aplicación particular. Por ejemplo, en vez de utilizar un micrómetro con trinquete o tambor de fricción puede requerirse uno de baja fuerza de medición (véase la figura 5.2).



**Figura 5.2.**

### ***Error por instrumento inadecuado***

Antes de realizar cualquier medición es necesario determinar cuál es el instrumento o equipo de medición más adecuado para la aplicación de que se trate. Además de la fuerza de medición, deben tenerse presente otros factores tales como:

- Cantidad de piezas por medir
- Tipo de medición (externa, interna, altura, profundidad, etcétera.)
- Tamaño de la pieza y exactitud deseada.

Existe una gran variedad de instrumentos y equipos de medición, como se muestra esquemáticamente en la figura 5.3 abarcando desde un simple calibra-

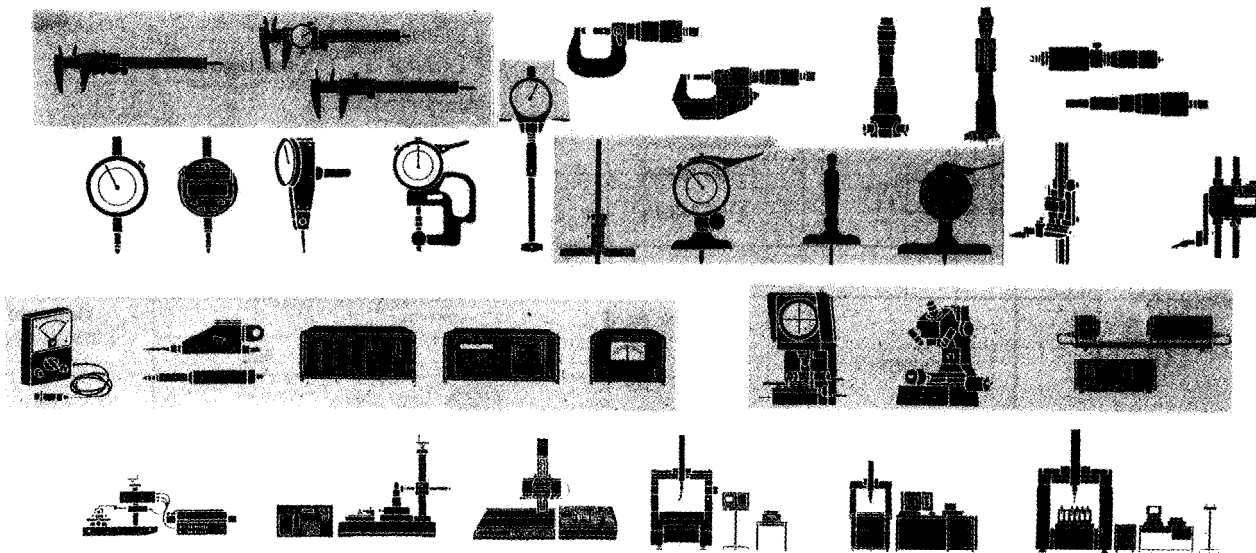


Figura 5.3.

dor vernier hasta la avanzada tecnología de las máquinas de medición por coordenadas de control numérico, comparadores ópticos, micrómetros láser y rugosímetros, entre otros.

Cuando se miden las dimensiones de una pieza de trabajo la exactitud de la medida depende del instrumento de medición elegido. Por ejemplo, si se ha de medir el diámetro exterior de un producto de hierro fundido, un calibrador vernier sería suficiente; sin embargo, si se va a medir un perno patrón, aunque tenga el mismo diámetro del ejemplo anterior, ni siquiera un micrómetro de exteriores tendría la exactitud suficiente para este tipo de aplicaciones, por tanto, debe usarse un equipo de mayor exactitud.

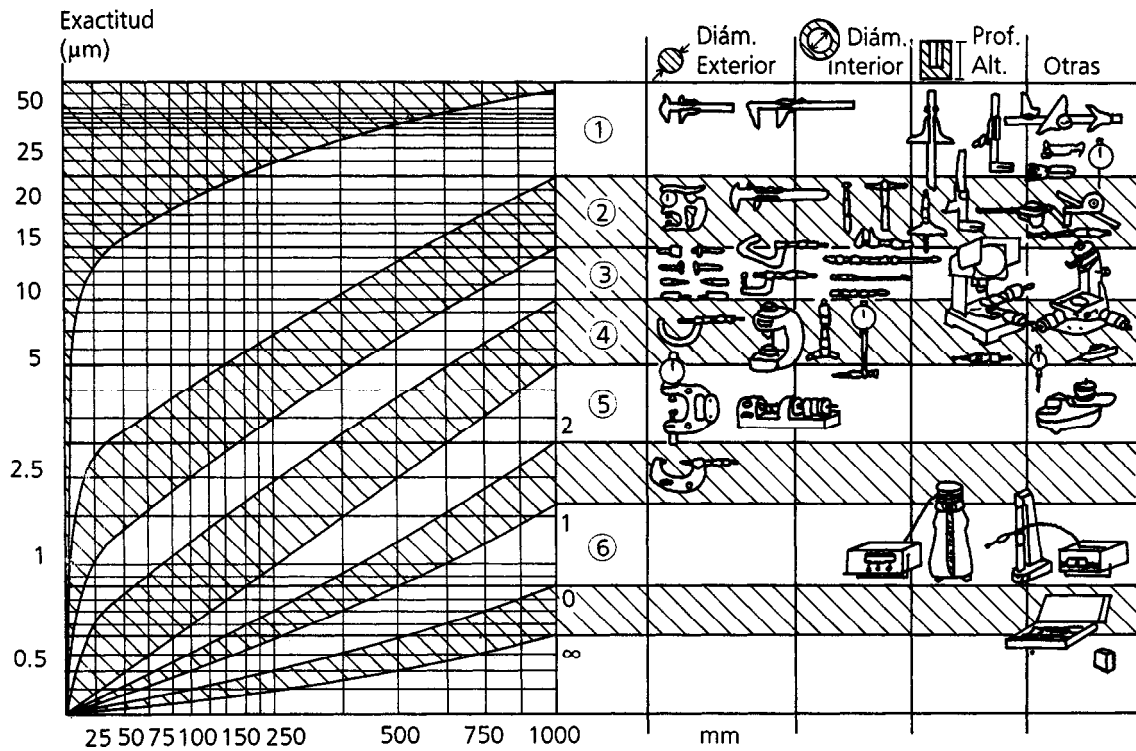
Se recomienda que la razón de tolerancia de una pieza de trabajo a la resolución, legibilidad o valor de mínima división de un instrumento sea de 10 a 1 para un caso ideal y de 5 a 1 en el peor de los casos. Si no es así la tolerancia se combina con el error de medición y por lo tanto un elemento bueno puede diagnosticarse como defectuoso y viceversa.

Cuando la razón antes mencionada no es satisfactoria, se requiere repetir las mediciones para asegurar la confiabilidad de las mediciones.

La figura 5.4 muestra en forma esquemática la exactitud que puede obtenerse con diversos instrumentos de medición en función de la dimensión medida.







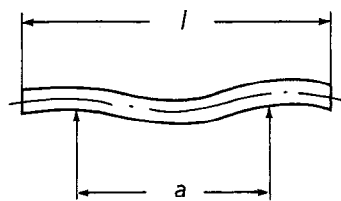
- 1) Calibradores de vernier, medidor de alturas  
 2) Calibradores, medidores de altura, indicadores de carátula  
 3) Micrómetros de interiores y exteriores  
 4) Micrómetro de exteriores con escala de vernier, medidor de agujeros, indicador de carátula  
 5) Calibrador de indicadores

Figura 5.4.

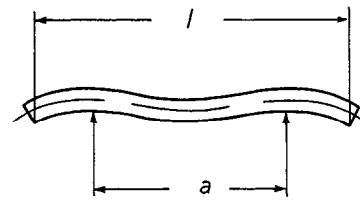
### Error por puntos de apoyo

Especialmente en los instrumentos de gran longitud, la manera como se apoya el instrumento provoca errores de lectura. En estos casos deben utilizarse puntos de apoyo especiales, como los puntos Airy o los puntos Bessel (véase la figura 5.5).

Puntos de apoyo que permiten que los dos extremos queden paralelos el uno con el otro

Figura 5.5. Puntos "Airy"  $a = 0.5774 l$ 

Puntos de apoyo que minimizan la contracción de la longitud de la línea central

Puntos "Bessel"  $a = 0.5594 l$

Para ciertas piezas resulta muchas veces conveniente indicar la localización de puntos o líneas, así como el tamaño de áreas sobre los que se deben apoyar, tal como lo ilustra la figura 5.6.

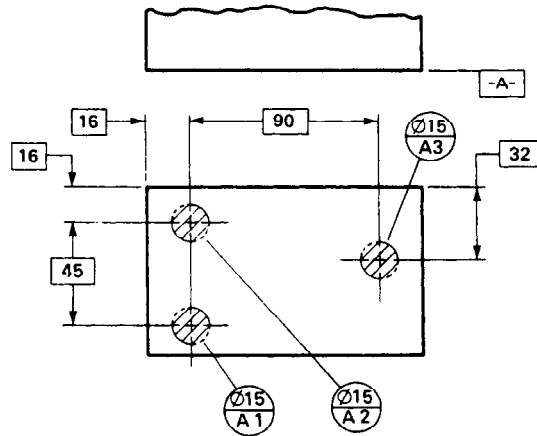


Figura 5.6.

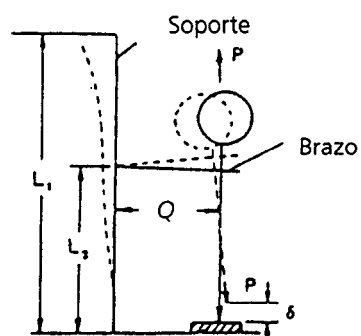
### *Errores por método de sujeción del instrumento*

El método de sujeción del instrumento puede causar errores como los que muestra la figura 5.7. En ésta, un indicador de carátula está sujeto a una distancia muy grande del soporte y al hacer la medición la fuerza ejercida provoca una desviación del brazo.

La mayor parte del error se debe a la deflexión del brazo, no del soporte; para minimizarlo se debe colocar siempre el eje de medición lo más cerca posible al eje del soporte.

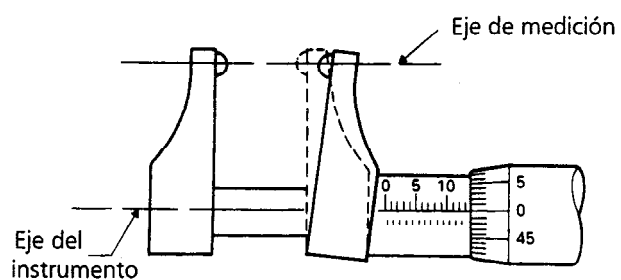
### *Error por distorsión*

Gran parte de la inexactitud que causa la distorsión de un instrumento puede evitarse manteniendo en mente la ley de Abbe: la máxima exactitud de medición es obtenida si el eje de medición es el mismo del eje del instrumento.



**Figura 5.7.**

La figura 5.8 muestra un micrómetro tipo calibrador. Puede verse que los errores los provoca la distorsión debido a la fuerza de medición aplicada y el hecho de que tal vez los topes no se muevan paralelos uno respecto del otro.



**Figura 5.8.**

La figura 5.9 ilustra cómo algunos instrumentos, como el micrómetro normal, inherentemente satisfacen la ley de Abbe, mientras que otros, como el calibrador, no.

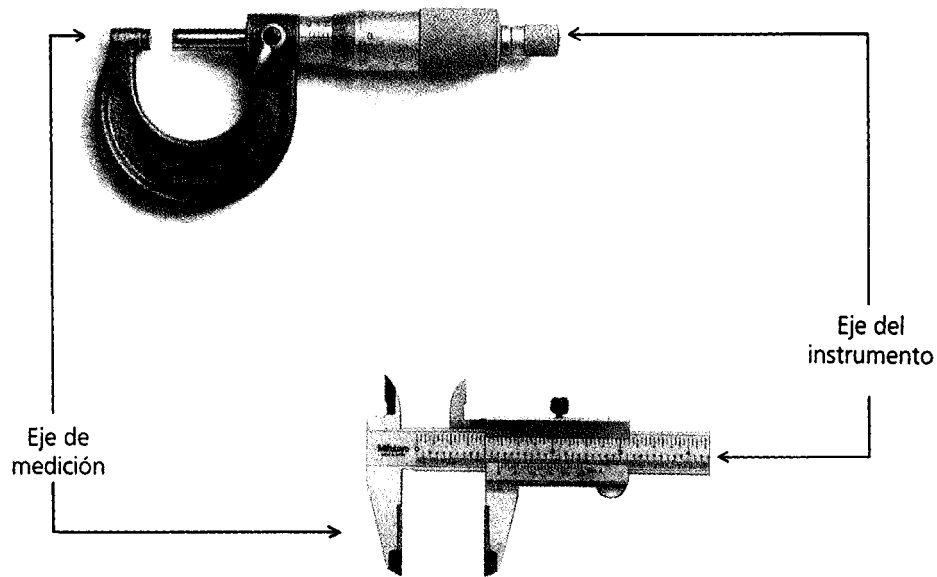


Figura 5.9.

### Error de paralaje

Este error ocurre debido a la posición incorrecta del operador con respecto a la escala graduada del instrumento de medición, la cual está en un plano diferente (véase la figura 5.10)

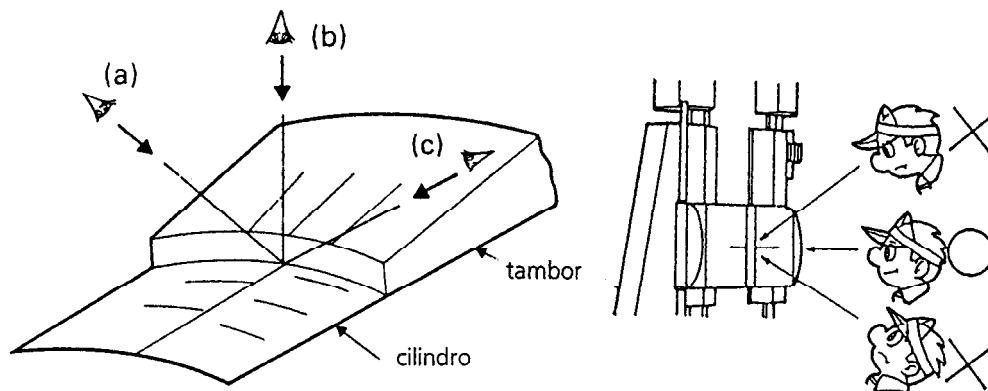


Figura 5.10.

El error de paralaje es más común de lo que se cree. En una muestra de 50 personas que usan calibradores con vernier la dispersión fue de 0.04 mm. Este defecto se corrige mirando perpendicularmente el plano de medición a partir del punto de lectura.

### **Error de posición**

Este error lo provoca la colocación incorrecta de las caras de medición de los instrumentos, con respecto de las piezas por medir, como se muestra en la figura 5.11.

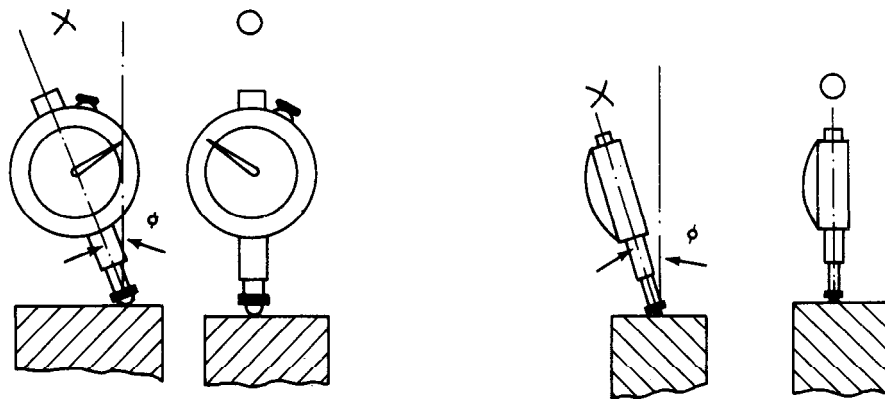


Figura 5.11.

### **Error por desgaste**

Los instrumentos de medición, como cualquier otro objeto, son susceptibles de desgaste, natural o provocado por el mal uso. En el caso concreto de los instrumentos de medición, el desgaste puede provocar una serie de errores durante su utilización, por ejemplo: deformaciones de sus partes, juego entre sus ensambles, falta de paralelismo o planitud entre las caras de medición, etcétera. Estos errores pueden originar, a su vez, decisiones equivocadas; por tanto, es necesario someter a cualquier instrumento de medición a una inspección de sus características. Estas inspecciones deberán repetirse periódicamente durante la vida útil del instrumento.

### **Error por condiciones ambientales**

Entre las causas de errores se encuentran las condiciones ambientales en que se hace la medición; entre las principales destacan la temperatura, la humedad, el polvo y las vibraciones o interferencias (ruido) electromagnéticas extrañas.

### ***Humedad***

Debido a los óxidos que se pueden formar por humedad excesiva en las caras de medición del instrumento o en otras partes o a las expansiones por absorción de humedad en algunos materiales, etcétera, se establece como norma una humedad relativa de 55% +/- 10%.

### ***Polvo***

Los errores debidos a polvo o mugre se observan con mayor frecuencia de lo esperado, algunas veces alcanzan el orden de 3 micrómetros. Para obtener medidas exactas se recomienda usar filtros para el aire que limiten la cantidad y el tamaño de las partículas de polvo ambiental.

### ***Temperatura***

En mayor o menor grado, todos los materiales que componen tanto las piezas por medir como los instrumentos de medición, están sujetos a variaciones longitudinales debido a cambios de temperatura. En algunos casos ocurren errores significativos; por ejemplo, en un experimento se sostuvo con las manos, a una temperatura de 31°C, una barra patrón de 200 mm durante 10 segundos y ésta se expandió 1µm. También por esta razón los arcos de los micrómetros se cubren con placas de aislante térmico en los costados.

Para minimizar estos errores se estableció internacionalmente, desde 1932, como norma una temperatura de 20°C para efectuar las mediciones. También es buena práctica dejar que durante un tiempo se estabilice la temperatura tanto de la pieza por medir como del instrumento de medición. El lapso depende de la diferencia de temperatura del lugar en que estaba la pieza y la sala de medición, así como del material y tamaño de la pieza.

En general, al aumentar la temperatura crecen las dimensiones de las piezas y cuando disminuye la temperatura las dimensiones de las piezas se reducen. Estas variaciones pueden determinarse utilizando la siguiente expresión.

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

Donde  $\Delta L$  = Variación de longitud  
 $\alpha$  = Coeficiente de expansión térmica del material  
 $L_0$  = Longitud original de la pieza  
 $\Delta T$  = Variación de temperatura

La tabla 1 muestra, expresados en /°C, los coeficientes de expansión térmica de varios materiales.

Tabla 5.1.

<i>Material</i>	<i>Coefficiente de expansión térmica</i>	<i>Material</i>	<i>Coefficiente de expansión térmica</i>
Hierro fundido	$9.2-11.8 \times 10^{-6}$	Acero	$11.5 \times 10^{-6}$
Acero al carbono	$11.7-(0.9 \times \%C) \times 10^{-6}$	Hojalata	$23.0 \times 10^{-6}$
Acero al cromo	$11-13 \times 10^{-6}$	Zinc	$26.7 \times 10^{-6}$
Acero al Ni-Cr	$13-15 \times 10^{-6}$	Duralumin	$22.6 \times 10^{-6}$
Cobre	$18.5 \times 10^{-6}$	Platino	$9.0 \times 10^{-6}$
Bronce	$17.5 \times 10^{-6}$	Cerámicas	$3.0 \times 10^{-6}$
"Gunmetal"	$18.0 \times 10^{-6}$	Plata	$19.5 \times 10^{-6}$
Aluminio	$23.8 \times 10^{-6}$	Vidrio Crown	$8.9 \times 10^{-6}$
Latón	$18.5 \times 10^{-6}$	Vidrio Flint	$7.9 \times 10^{-6}$
Níquel	$13.0 \times 10^{-6}$	Cuarzo	$0.5 \times 10^{-6}$
Hierro	$12.2 \times 10^{-6}$	Cloruro de vinilo	$7-2.5 \times 10^{-6}$
Acero níquel (58% Ni)	$12.0 \times 10^{-6}$	Fenol	$3-4.5 \times 10^{-6}$
Invar (36% Ni)	$1.5 \times 10^{-6}$	Polietileno	$0.5-5.5 \times 10^{-6}$
Oro	$14.2 \times 10^{-6}$	Nylon	$10-15 \times 10^{-6}$

Como ejemplo, considérese una pieza de acero que mide 100.000 mm de diámetro cuando está a 10°C y se desea saber cuánto medirá a la temperatura de referencia de 20°C. Para determinarlo basta utilizar la expresión dada.

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

$$\Delta L = 0.0000115(100.000) (10)$$

$$\Delta L = 0.0115 \text{ mm}$$

Por lo que el diámetro de la pieza a 20°C será de 100.0115 mm.

Obsérvese que la variación resultó algo mayor que 0.01 mm, lo que puede detectarse fácilmente con un micrómetro.

En la práctica es muy difícil mantener constante la temperatura de la pieza por medir, la del instrumento de medición y, en caso necesario, la del patrón a 20°C, por lo que aun cuando se cuenta con un cuarto con temperatura controlada que se mantiene estable a 20°C, existirán variaciones que pueden ser hasta de 1°C por cada metro en el sentido vertical.

Cuando en las mediciones se desea lograr exactitud en el orden de los micrómetros, será necesario realizarlas a 20°C o hacer las correcciones pertinentes mediante la expresión dada antes.

## MEDICIÓN Y REGISTRO

Por lo general, cuando se efectúa la medición los valores medidos se registran. Para mediciones críticas es mejor que dos personas trabajen juntas, ya que una

se dedica a medir y otra se especializa en registrar la medición. En este caso las notas se deben tomar como se indica en los siguientes párrafos.

Para el operador las indicaciones son las siguientes:

- a) Con pronunciación clara y correcta, dicte al personal de registro los valores medidos.
- b) Inmediatamente después de tomar el dato, asegúrese otra vez del valor medido para evitar una lectura errada.
- c) Asegúrese de que el personal de registro repita verbalmente el valor correcto en el momento de la lectura de datos.
- d) Efectúe las mediciones en las mismas condiciones cada vez.

Si una perilla ha de girarse en el sentido de las manecillas del reloj, entonces debe girarse cada vez a una velocidad constante. Lo mismo puede decirse cuando un botón o algo semejante debe moverse de arriba abajo o viceversa. El operador siempre debe pararse en el mismo lugar, de otra manera las condiciones producidas por la radiación del calor del cuerpo en los instrumentos de medición y las piezas de trabajo, y por la alteración del alineamiento del piso debido al movimiento del cuerpo, pueden afectar de alguna manera la exactitud de la medición.

Para el personal de registro las indicaciones son las siguientes:

- a) Asegúrese de registrar la fecha, los nombres del operador del registrador y del instrumento de medición, el tiempo de iniciación/finalización, las temperaturas antes y después de la medición, el lugar donde se efectuó ésta y el estado del tiempo.
- b) Repita verbalmente el valor dictado por el operador, y asegúrese que el valor registrado sea el mismo que el que repitió.
- c) Registre los valores correctamente y no borre los datos una vez que los haya escrito. Si más tarde corrige datos, trace una línea y anote la palabra "corrección".
- d) Si se ha de dibujar una gráfica, anote primero las lecturas y luego coloque los valores en las gráficas.
- e) Cuando se vaya a efectuar una medición de especial exactitud, tome dos detalles de las anormalidades que ocurren durante la medición. En un caso particular debe aun registrarse la condición emocional del operador.





## Medición con instrumentos básicos

### INTRODUCCIÓN

Generalmente, el primer contacto con un instrumento de medición de longitud será con una cinta, un flexómetro (longímetro) o una regla, lo que dependerá de la longitud que se desee medir.

Las cintas de medición (Fig. 6.1) normalmente se utilizan para longitudes de hasta 50 m (150 pies); los flexómetros para longitudes de hasta 5 m (25 pies) (Fig. 6.2), las reglas se describen con detalle en los siguientes párrafos.

En todos estos casos la medición es realizada desde un punto inicial fijo sobre la escala que está alineada con un extremo de la distancia por medir, la graduación que corresponda a la posición del otro extremo proporcionará la longitud.

La escala consiste de una serie de graduaciones uniformemente espaciadas que representan submúltiplos de la unidad de longitud. Valores numéricos convenientes se encuentran marcados sobre la escala cada determinado número de graduaciones para facilitar la lectura.

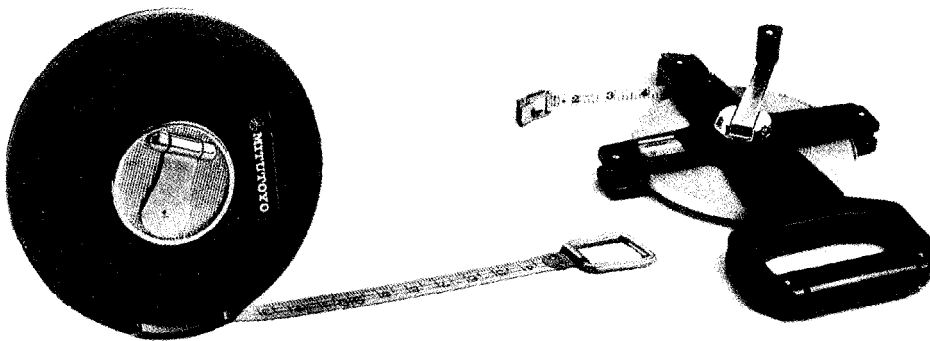


Figura 6.1.

### MEDICIÓN CON REGLAS

La herramienta de medición más común en el trabajo del taller mecánico es la regla de acero. Se emplea cuando hay que tomar medidas rápidas y cuando no es necesario un alto grado de exactitud. Las reglas de acero, en pulgadas, están graduadas en fracciones o decimales; las reglas métricas suelen estar graduadas



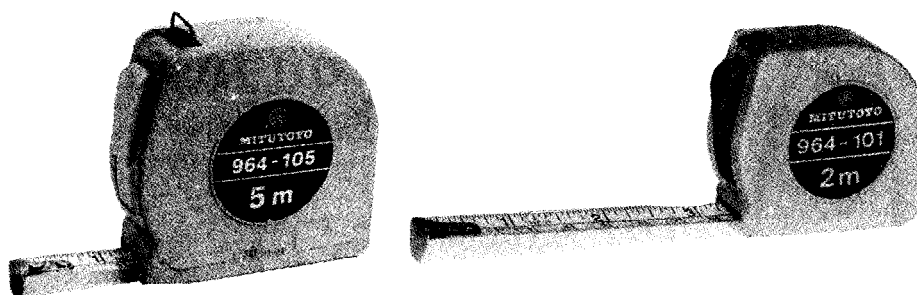


Figura 6.2.

en milímetros o en medios milímetros. La exactitud de la medida que se toma depende de las condiciones y del uso correcto de la regla.

### Regla de acero

Las reglas de acero se fabrican en una gran variedad de tipos y tamaños, adecuados a la forma o tamaño de una sección o la longitud de una pieza. Para satisfacer los requisitos de la pieza que se produce y se va a medir, hay disponibles reglas graduadas en fracciones o decimales de pulgada o en milímetros. Los tipos de reglas más utilizados en el trabajo del taller mecánico se describen a continuación.

- a) Regla rígida de acero templado. Generalmente tiene cuatro escalas, dos en cada lado; se fabrican en diferentes longitudes, la más común es de 6 pulgadas o 150 mm (Fig. 6.3).
- b) Regla flexible, similar a la anterior pero más estrecha y delgada, lo que permite flexionarla, dentro de ciertos límites, para realizar lecturas donde la rigidez de la regla de acero templado no permite la medición adecuada (Fig. 6.4).

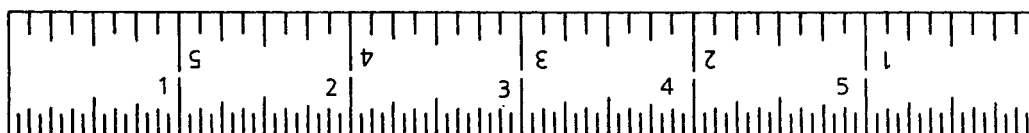


Figura 6.3. Regla rígida de acero templado.

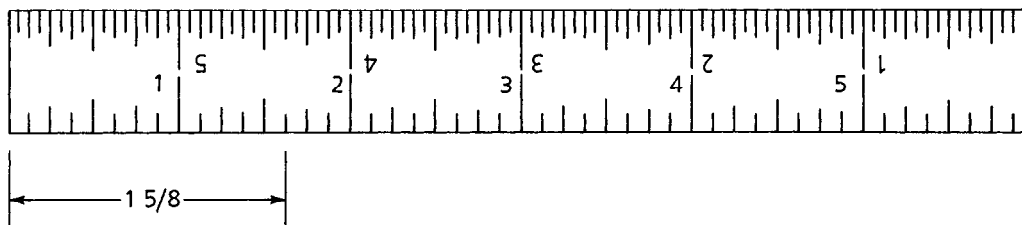


Figura 6.4. Regla flexible de acero.

### Lectura de reglas graduadas en fracciones de pulgadas

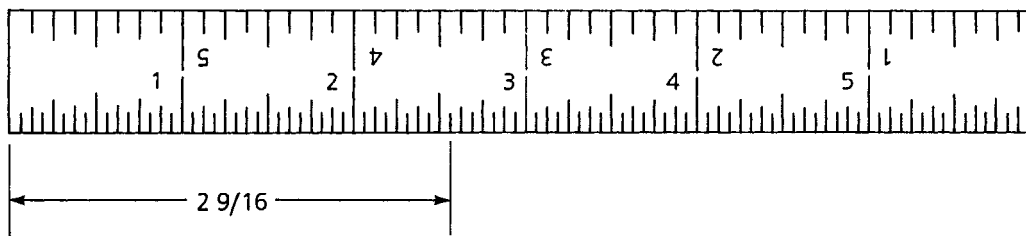
1. Anote el número de pulgadas completas.
2. Adicione las fracciones que hay más allá de la última línea de pulgada completa.

Las fracciones de pulgada empleadas más comúnmente son  $1/64$ ,  $1/32$ ,  $1/16$  y  $1/8$ .



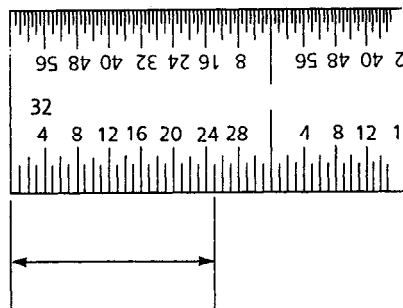
**Figura 6.5.** Lectura de  $1 \frac{5}{8}$  en la escala de octavos.

La lectura de la figura 6.5 es:  $1 \text{ pulg} + (5 \times 1/8 \text{ pulg}) = 1 + 5/8 = 1 \frac{5}{8} \text{ pulg}$



**Figura 6.6.** Lectura de  $2 \frac{9}{16}$  pulg en la escala de  $1/16$  pulg.

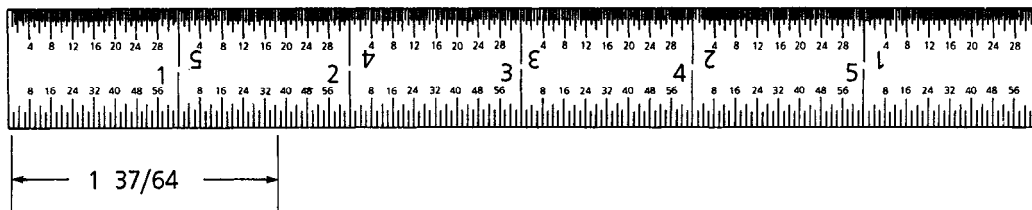
La lectura de la figura 6.6 es:  $2 \text{ pulg} + (9 \times 1/16 \text{ pulg}) = 2 + 9/16 = 2 \frac{9}{16} \text{ pulg}$



**Figura 6.7.** Lectura de  $25/32$  pulg en la escala de  $1/32$  pulg.

La lectura de la Figura 6.7 es: Una marca más allá de la graduación 24 en la escala en treintaidosavos.

Por tanto, la lectura es  $25/32$  pulg.



**Figura 6.8.** Lectura de  $1 \frac{37}{64}$  pulg en la escala  $1/64''$ .

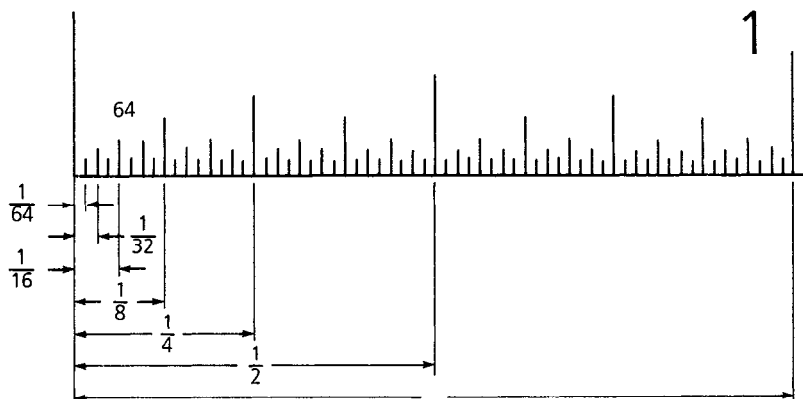
La lectura de la figura 6.8 es cinco marcas más allá de la graduación 32 en la escala de sesentaicuatroavos.

$$1 \text{ pulg} + (37 \times 1/64) = 1 + 37/64 = 1 \frac{37}{64} \text{ pulg.}$$

*Nota:* Si al efectuar la medición se obtiene un número par en el numerador, la fracción deberá simplificarse hasta obtener un número impar, por ejemplo: si obtenemos una lectura de  $28/64$  en la escala de sesentaicuatroavos, al simplificar obtenemos:

$$28/64 = 14/32 = 7/16$$

La escala mostrada en la figura 6.9 corresponde a fracciones de pulgada en una forma que puede encontrarse en los flexómetros, pero no en las reglas metálicas.



**Figura 6.9.** Fracciones de una pulgada (amplificada).

### Lectura de reglas graduadas en decimales de pulgada

Este tipo de reglas se utilizan, por lo general, cuando se requieren mediciones menores a  $1/64$  pulg, dado que las dimensiones lineales a veces se escriben en los dibujos con decimales. Estas reglas son de particular utilidad para el operario. Las graduaciones más comunes son: .1 ( $1/10$  pulg), .02 ( $1/50$  pulg) y .01 ( $1/100$  pulg).

Recuérdese que ningún instrumento es capaz de controlar la exactitud de las mediciones más allá de la graduación más pequeña de la escala. Cuando una lectura está entre dos graduaciones sólo puede estimarse, no controlarse.

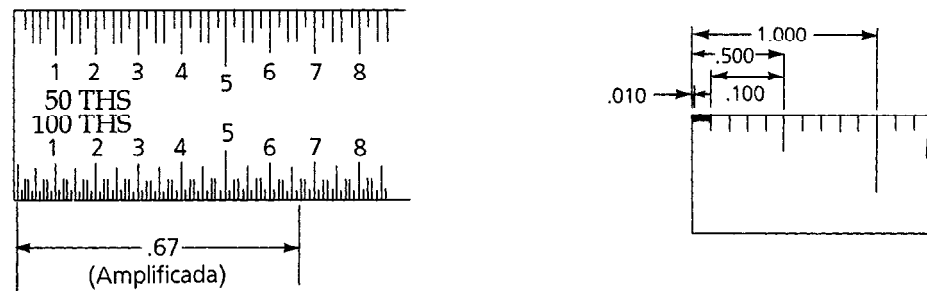


Figura 6.10. Lectura de .67 pulg en la escala de centésimas (.01).

Cada división con números grandes =	$10/100 = .10$
Seis divisiones con números grandes =	$6(.100) = .60$
Cada división pequeña sin numerar =	$1/100 = .01$
La lectura es siete divisiones más allá del número 6 = $7(.01) = .07$	
La lectura es $.60 + .07 =$	<u><math>.67</math></u>

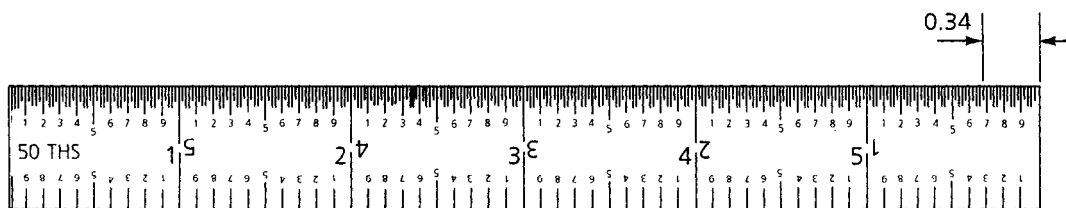
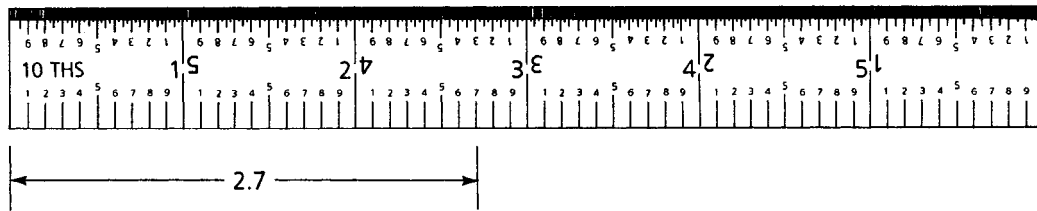


Figura 6.11. Una lectura de .34 en la escala de cincuentavos (.02).

Cada división con números grandes =	$= .10$
Tres divisiones con números grandes =	$3(.100) = .30$
Cada división pequeña sin numerar = $1/50$	$= .02$
La lectura es dos divisiones más allá del número 3 = $2(.02) = .04$	
La lectura es $.30 + .04 =$	<u><math>.34</math></u>



**Figura 6.12.** Lectura de 2.7 pulg en la escala de décimos (.1)

Cada división con números =  $1/10 = .1$

Lectura en número 7 =  $7(.1) = .7$

Lectura total 2 pulg + .7 pulg = 2.7 pulg

Para mediciones exactas de piezas redondas, tenga presente que la regla debe ponerse en la línea central.

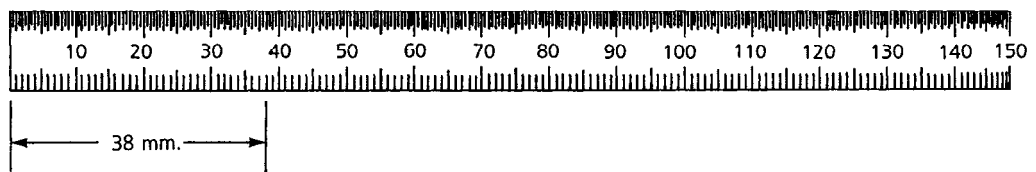
Para obtener mediciones exactas, la regla siempre se debe sostener paralela al borde.

Una lupa facilitará la lectura de una regla graduada en centésimas de pulgada.

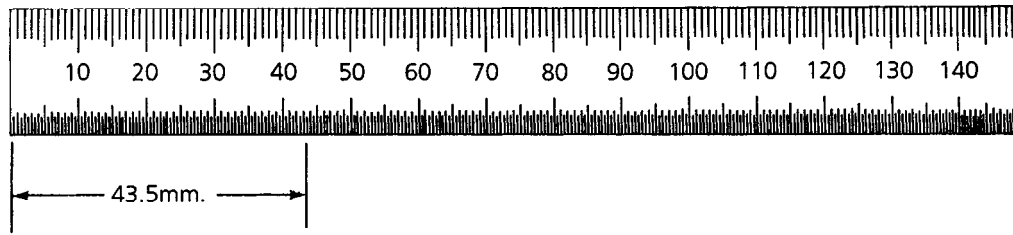
### Lectura de reglas graduadas en milímetros

Las reglas métricas suelen estar graduadas en milímetros y medios milímetros y se emplean para lecturas que no requieren gran exactitud. Estas reglas están disponibles en longitudes de 150 mm hasta 1 m. Al medir con una regla métrica proceda como sigue:

1. Anote el número de divisiones principales que se ven; cada división tiene un valor de 10 mm.
2. Si la regla tiene graduaciones en milímetros, sume el número de líneas que aparecen después de alguna línea principal. Cada línea tiene un valor de 1 mm.
3. Si la regla está graduada (en medios milímetros), la graduación más pequeña nos indica medio milímetro más de la lectura en milímetros que ya tenemos.



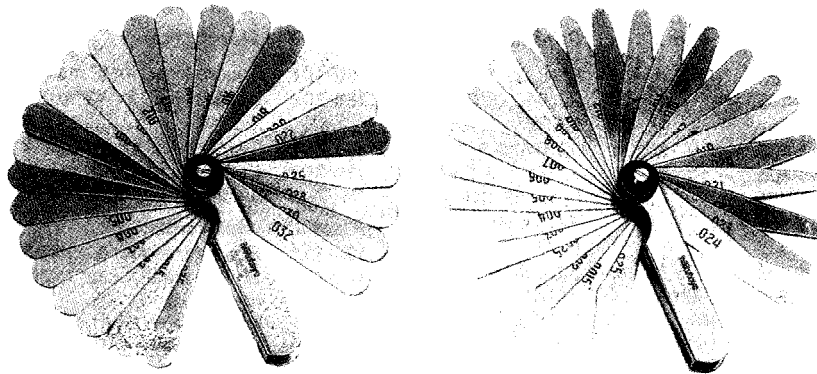
**Figura 6.13.** Lectura de 38 mm en la regla milimétrica.



**Figura 6.14.** Lectura de 43.5 mm en la regla milimétrica.

### LAINAS (MEDIDORES DE ESPESOR)

Estos medidores (Fig. 6.15) consisten en láminas delgadas que tienen marcado su espesor y que son utilizadas para medir pequeñas aberturas o ranuras. El método de medición consiste en introducir una laina dentro de la abertura, si entra fácilmente se prueba con la mayor siguiente disponible, si no entra vuelve a utilizarse la anterior.



**Figura 6.15.**

Los juegos de laines se mantienen juntos mediante un tornillo que atraviesa un agujero que tienen en un extremo. Debe tenerse cuidado de no forzar las laines ni introducirlas en ranuras que tengan rebabas o superficies ásperas porque esto las dañaría.

Existen juegos con diversas cantidades de laines y pasos de 0.01 mm (.001 pulg). Es posible combinar las laines para obtener medidas diferentes. Los espesores van de 0.03 a 0.2 mm (.0015 a .025 pulg).

La longitud de las laines puede variar y ser del mismo espesor en toda su longitud o tener una pendiente cónica en un extremo.



### PATRONES DE RADIOS

Estos patrones (Fig. 6.16) consisten en una serie de láminas (juego) marcadas en mm (fracciones o decimales de pulgada) con los correspondientes radios cóncavos y convexos, formados en diversas partes de la lámina, tal como lo muestra la figura 6.17. Un juego más simple es mostrado en la figura 6.18.

La inspección se realiza determinando qué patrón se ajusta mejor al borde redondeado de una pieza; generalmente los radios van de 1 a 25 mm ( $1/32$  a  $1/2$  pulg o .020 a .400 pulg) en pasos de 0.5 mm.

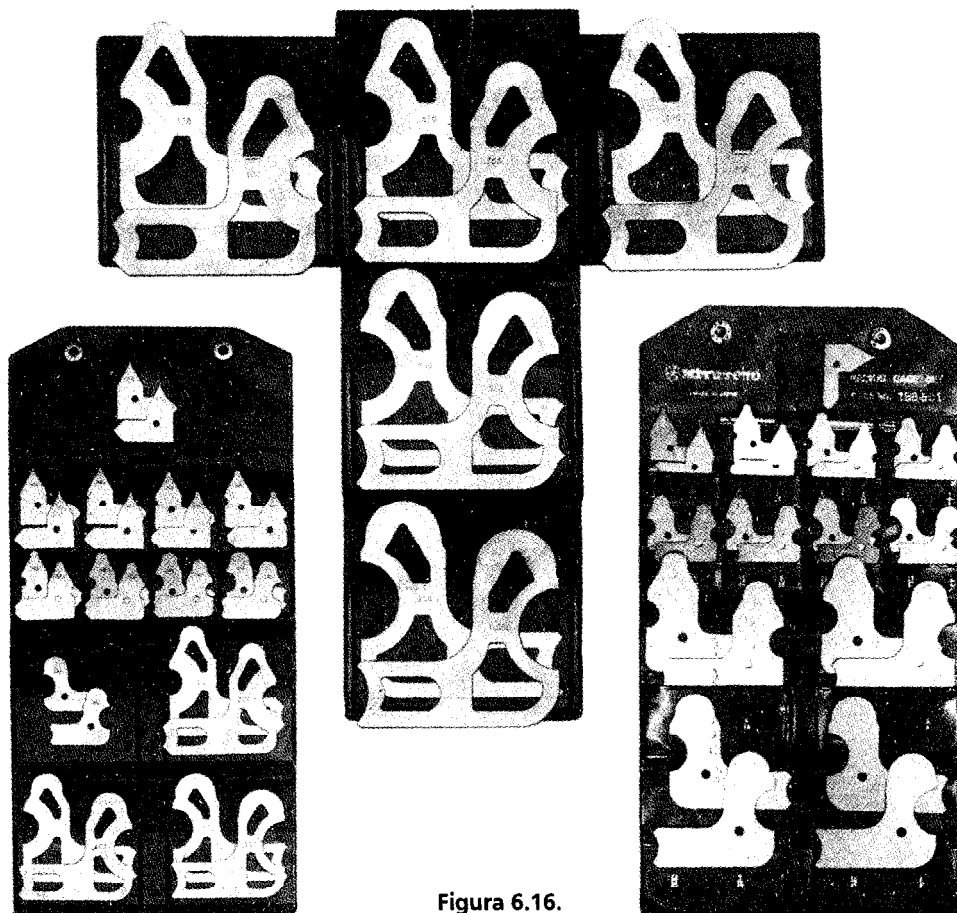


Figura 6.16.

### PATRONES PARA ALAMBRES, BROCAS Y LÁMINAS

Los patrones para brocas (Fig. 6.19) sirven para determinar el tamaño de éstas al introducirlas en un agujero cuyo tamaño está marcado a un lado o para mantener en posición vertical un juego de brocas.

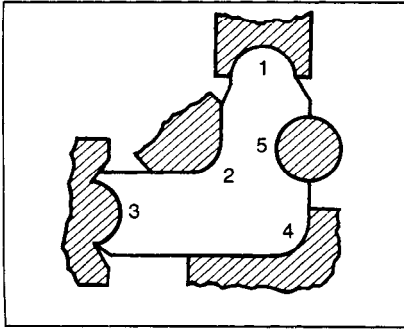


Figura 6.17.

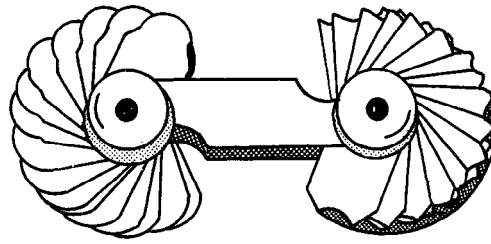


Figura 6.18.

El cuerpo del patrón tiene grabadas indicaciones sobre el tamaño de broca recomendable para un tamaño de rosca determinado. Esta característica permite elegir rápidamente la broca adecuada.

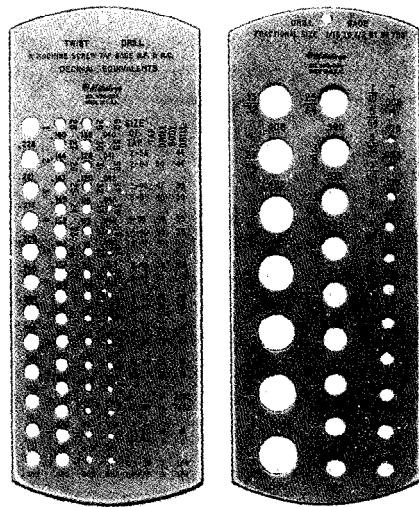


Figura 6.19.

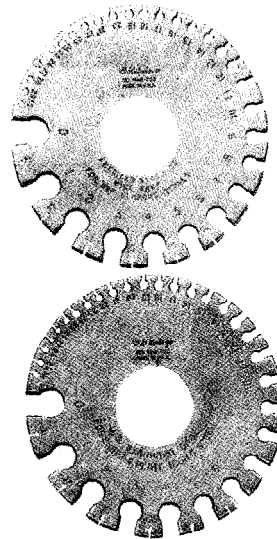


Figura 6.20.

La figura 6.20 muestra patrones para determinar el calibre de alambres o láminas; existen para metales suaves, como cobre y aluminio, y para acero. Cada ranura tiene su valor decimal equivalente marcado a un lado.

### CUENTAHILOS

Los cuentahilos (Fig. 6.21) consisten de una serie de láminas que se mantienen juntas mediante un tornillo en un extremo, mientras que el otro tiene salientes que corresponden a la forma de rosca de varios pasos (hilos por pulg); los valores están indicados sobre cada lámina.

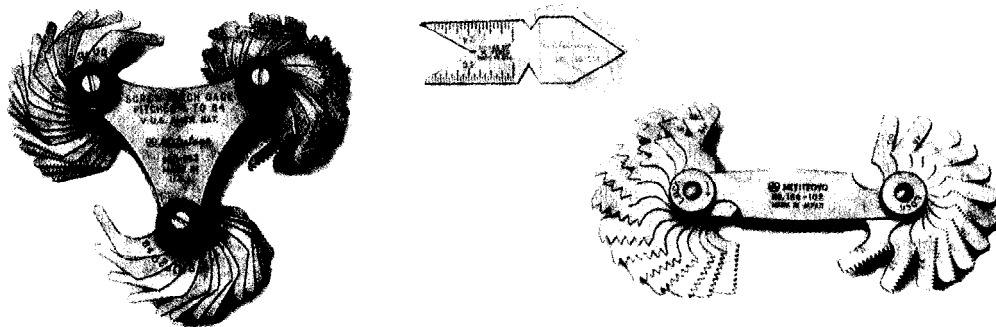


Figura 6.21.

El uso del cuentahilos es una forma rápida de determinar el paso, sobre todo los muy finos. Lo único que debe hacerse es probar con diferentes láminas hasta que una asiente adecuadamente.

La pieza de lámina mostrada en la figura 22, central superior, es utilizada para afilar y poner en posición herramienta para el corte de roscas. Esta pieza tiene unas graduaciones, en mm y pulgadas, que sirven para determinar el paso de las cuatro roscas más comunes.

### COMPASES

Antes de que instrumentos como el calibrador vernier fueran introducidos, las partes eran medidas con compases (Fig. 6.22) (interiores, exteriores, divisores, hermafroditas) y reglas. Por ejemplo, para medir un diámetro exterior la parte es puesta entre las puntas del compás y luego las puntas del compás son colocadas sobre una regla para transferir la lectura (Fig. 6.23). En otra aplicación las puntas del compás de exteriores se separan una distancia específica utilizando una regla, entonces las partes son maquinadas hasta que las puntas del compás se deslizan justamente sobre la superficie maquinada. El uso de compases en la actualidad está restringido, ya que su uso requiere habilidad (tacto) y no es posible lograr gran exactitud; en algunos casos sólo se utilizan en el taller para realizar trazos antes de maquinar las piezas.

La figura 6.24 muestra la misma aplicación de la figura 6.23 sólo que para interiores.

### CALIBRES TELESCÓPICOS

Los calibres telescópicos (Fig. 6.25) sirven para la medición de diámetros de agujeros o anchos de ranuras. Las dos puntas de contacto se expanden mediante la fuerza de un resorte. Una vez colocadas en la posición adecuada se fijan y se remueve el calibre. El tamaño final puede obtenerse midiendo sobre las puntas de contacto con un micrómetro.



Figura 6.22.

El uso confiable de estos calibres requiere gran habilidad del operador, ya que es necesario mucho tacto y saber colocarlo en la posición correcta.

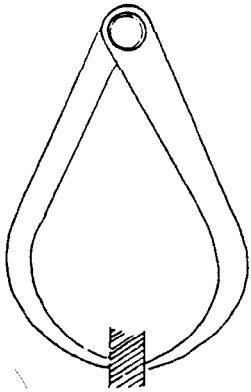


Figura 6.23.

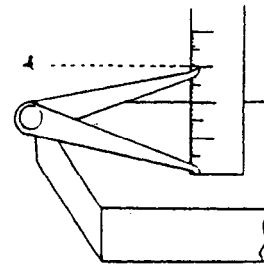
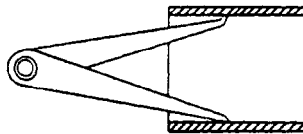
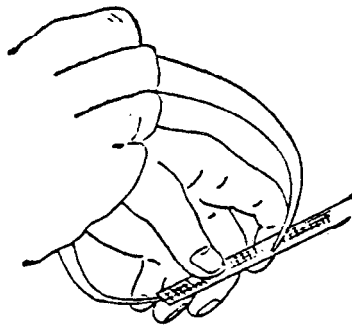


Figura 6.24.

### CALIBRES PARA AGUJEROS PEQUEÑOS

Estos calibres (Fig. 6.26), especialmente diseñados para medir agujeros y ranuras pequeños, 3 a 13 mm (.115 a .500 pulg), también requieren auxiliarse de un





Figura 6.25.

micrómetro (Fig. 6.27) para medir sobre las puntas de contacto después de que éstas han sido fijadas dentro del agujero o ranura con la fuerza de medición apropiada.

Las mitades de la punta (semiesférica) son expandidas girando la parte moleteada en el extremo opuesto del calibre.

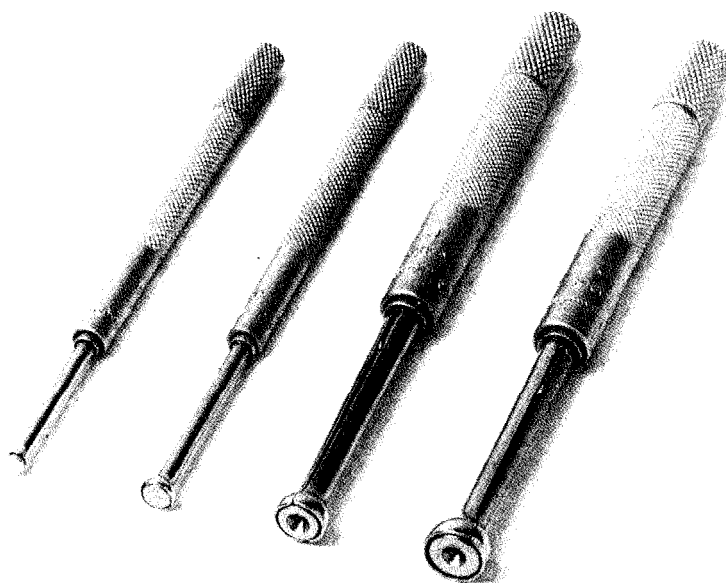


Figura 6.26.

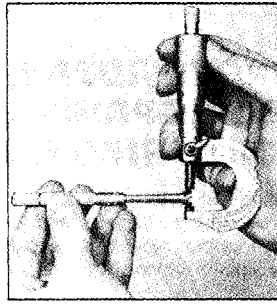


Figura 6.27.



Figura 6.28.

## TRAZADORES Y GRAMIL

Existe una variedad de trazadores (Fig. 6.29), generalmente con puntas de carburo de tungsteno, aunque pueden ser de diamante, útiles para realizar trazos con la ayuda de reglas o la escuadra de combinación.

El gramil (Fig. 6.30) consta de una base sobre la que se sujeta una barra, en una posición más o menos vertical (puede ser ajustada), sobre la que hay un soporte para un trazador o un indicador de carátula (Fig. 6.31), cuya posición puede ajustarse subiendo o bajando el soporte sobre la barra o, finalmente, por medio del tornillo moleteado ubicado sobre la base. El gramil puede utilizarse para transferir mediciones o centrar piezas en máquinas herramienta, por ejemplo un torno.

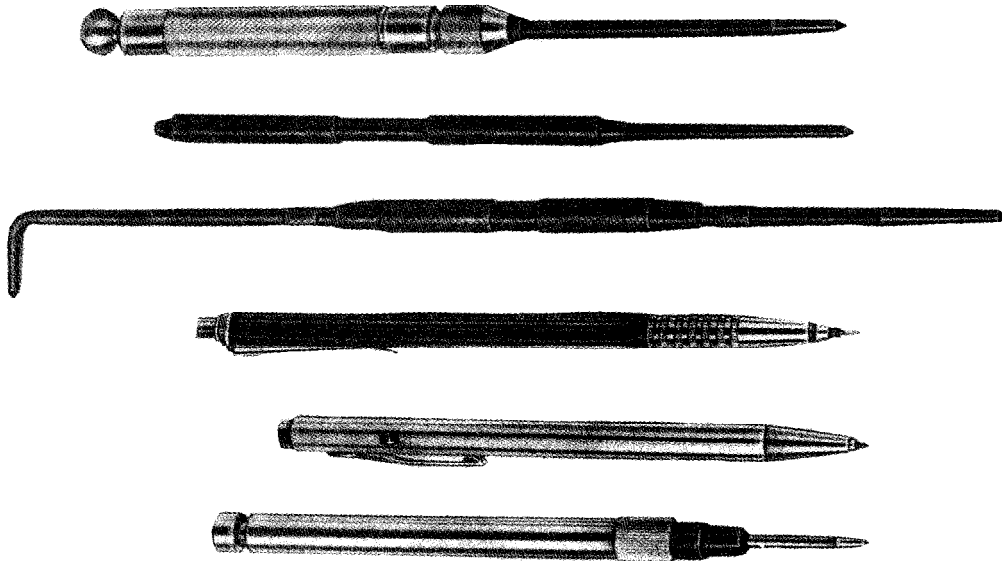


Figura 6.29.

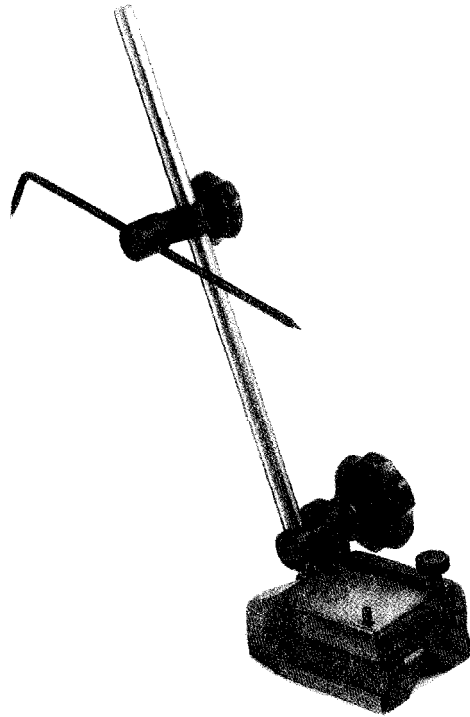


Figura 6.30.

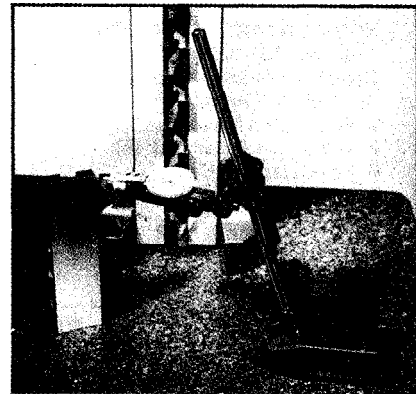


Figura 6.31.

### CALIBRES ANGULARES

Estos calibres (Fig. 6.32) cuentan con láminas que tienen diferentes ángulos (Fig. 6.33) para cubrir las necesidades de medición de chaflanes externos o internos, inspección de ángulos de ruedas de esmeril o cortadores. En el juego mostrado se tienen de  $25^\circ$  a  $45^\circ$ , con incrementos de  $2.5^\circ$  (semiángulos); de  $5^\circ$  a  $90^\circ$ , con incrementos de  $5^\circ$  (ángulos), y de  $90^\circ$  a  $175^\circ$ , con incrementos de  $5^\circ$  (ángulos complementarios).

La figura 6.34 ilustra aplicaciones típicas de estos calibres.

### LUPAS DE COMPARACIÓN

Las lupas de comparación mostradas en la figura 6.35 tienen una amplificación de  $7\times$  a  $50\times$ , y son útiles para propósitos de inspección generales. Puede adaptárseles un dispositivo de iluminación (Fig. 6.36) e intercalar dentro del sistema óptico retículas útiles para mediciones diversas (Fig. 6.37).

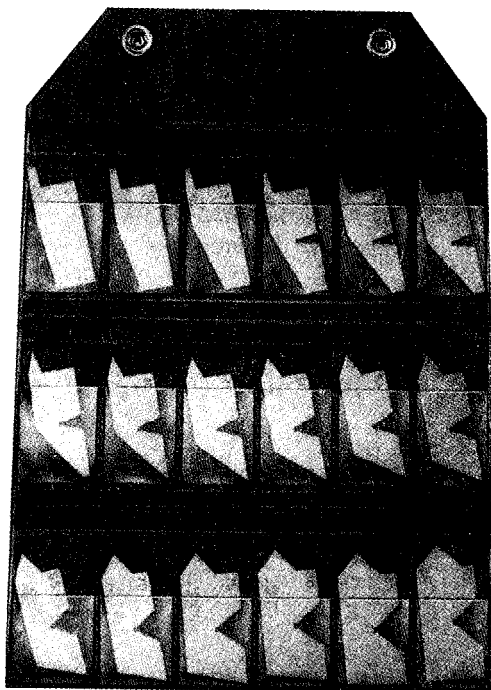


Figura 6.32.

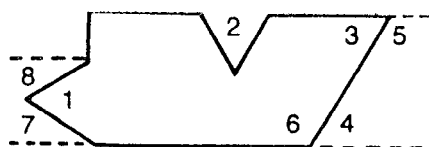


Figura 6.33.

Ángulos 1, 2, 3 y 4  
ángulos complementarios 5 y 6 semiángulos 7 y 8

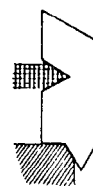
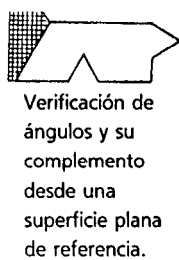


Figura 6.34.



Figura 6.35.



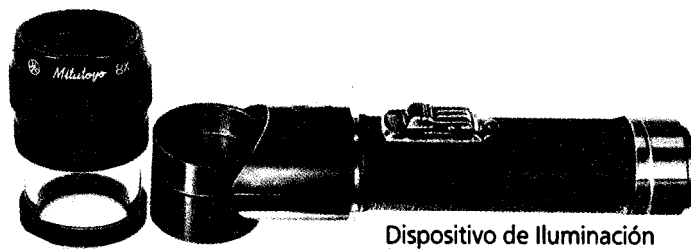


Figura 6.36.

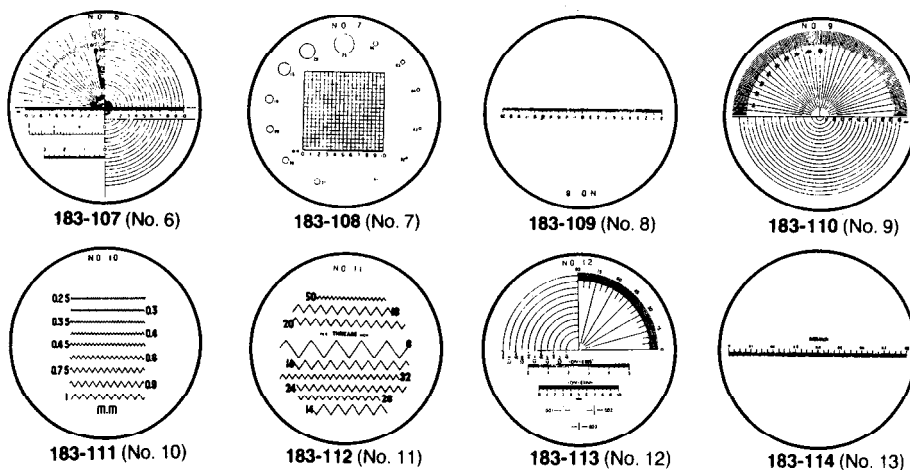


Figura 6.37.

# Calibradores

## CALIBRADORES VERNIER

### Introducción

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

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

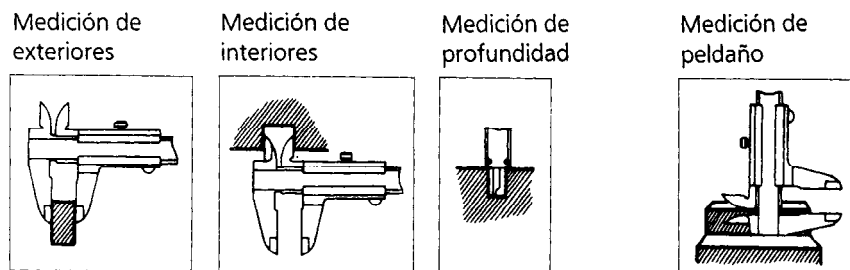


Figura 7.1.

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

### Tipos de vernier

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

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

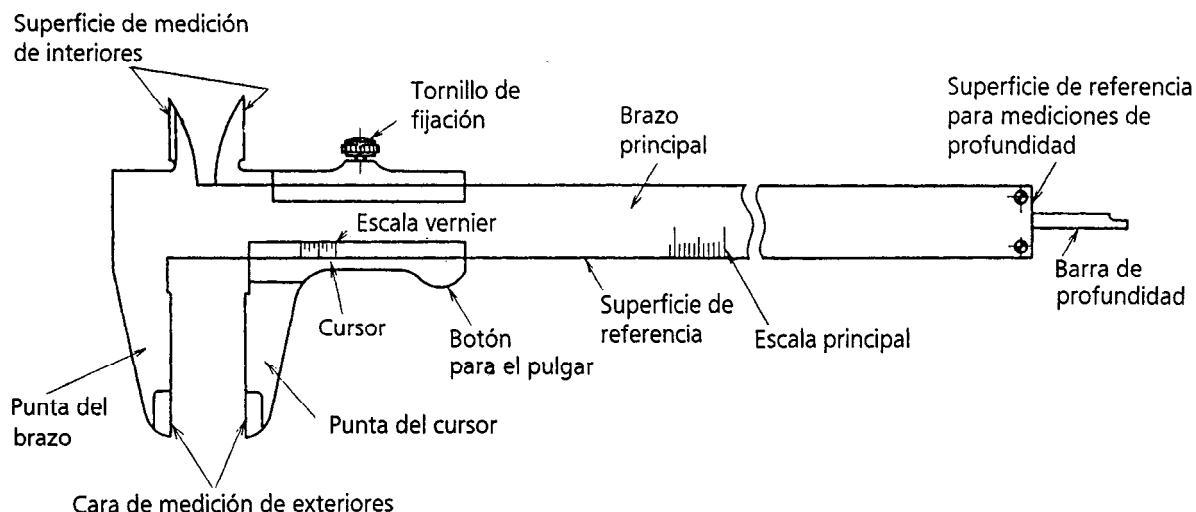


Figura 7.2.

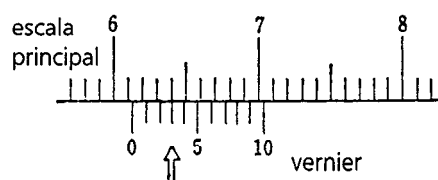


Figura 7.3.

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

### Número de escalas principales en calibradores vernier

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

**Tabla 7.1.** Número de escalas principales en calibradores vernier

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

### Graduaciones en las escalas principal y vernier

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

**Tabla 7.2.** Graduaciones de las escalas principal y vernier

Mínima división escala principal	Graduaciones escala vernier	Lecturas del vernier	Mínima división escala principal	Graduaciones escala vernier	Lecturas del vernier
0.5 mm	25 divisiones en 12 mm 25 divisiones en 24.5 mm	0.02 mm 0.02 mm	1/16 pulg	8 divisiones en 7/16 pulg	1/128 pulg
1 mm	50 divisiones en 49 mm 20 divisiones en 19 mm 20 divisiones en 39 mm	0.02 mm 0.05 mm 0.05 mm	1/40 pulg 1/20 pulg	25 divisiones en 1.225 pulg 50 divisiones en 2.45 pulg	1 / 1 0 0 0 pulg 1 / 1 0 0 0 pulg

### Cómo tomar lecturas con escalas vernier

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

#### *Vernier estándar*

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

$S$  = valor de la mínima división en la escala principal

$V$  = valor de una división de la escala vernier

$L$  = legibilidad del vernier

Entonces el valor  $C$  es obtenido como sigue:

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

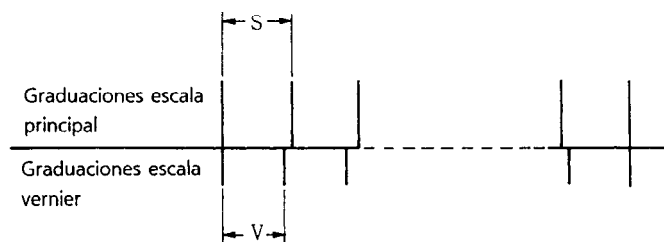


Figura 7.4.

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

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

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

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

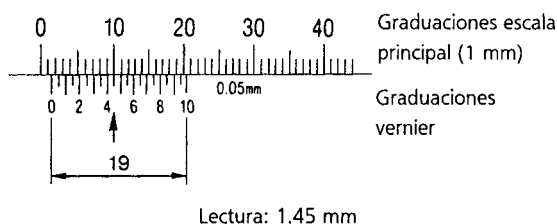


Figura 7.5.

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

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

La lectura total es:

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

### Vernier largo

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

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

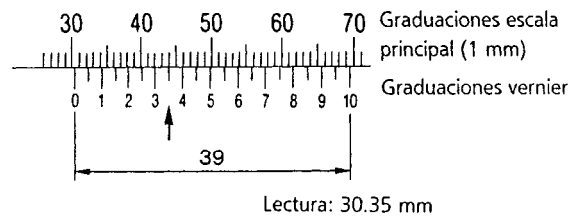


Figura 7.6.

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

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

La lectura total es:

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

Una división sobre los vernier largos puede ser expresada como:

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

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

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

Hagamos

$S$  = valor de una división de la escala principal

$V$  = valor de una división vernier

$L$  = legibilidad del vernier

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



Entonces el valor  $L$  es obtenido como sigue:

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

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

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

### *Vernier en pulgadas*

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

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

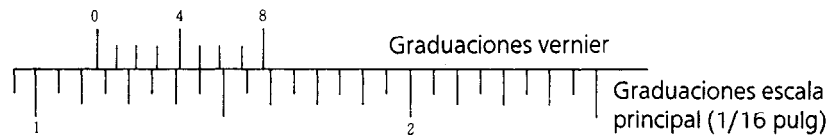


Figura 7.7.

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

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

La lectura total es:

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

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

### Construcción del brazo principal y cursor

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

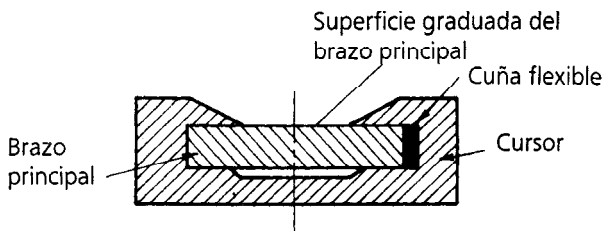


Figura 7.8.

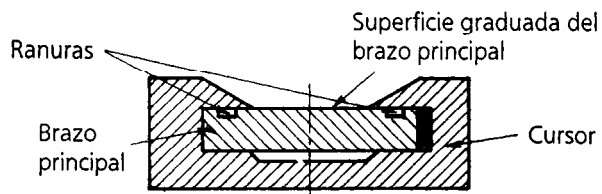


Figura 7.9.

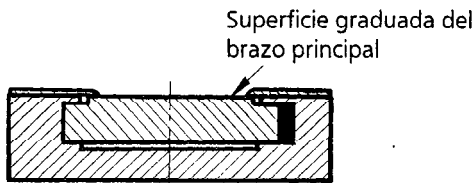


Figura 7.10.

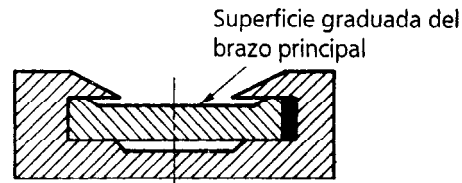


Figura 7.11.

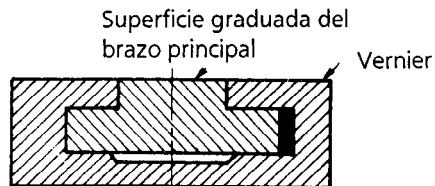


Figura 7.12.

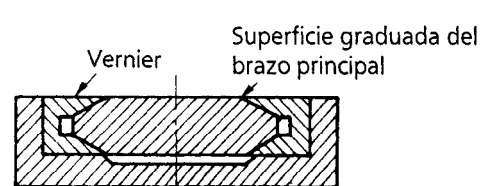


Figura 7.13.

### Construcción estándar

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



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

### ***Construcción con ranuras***

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

### ***Construcción rebajada***

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

### ***Construcción con ajuste al ras***

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

## **Clasificación de los calibradores por tamaño y tipo**

### ***Calibradores grandes y pequeños***

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

### ***Calibradores vernier tipo estándar***

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

### Calibradores vernier tipo M

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

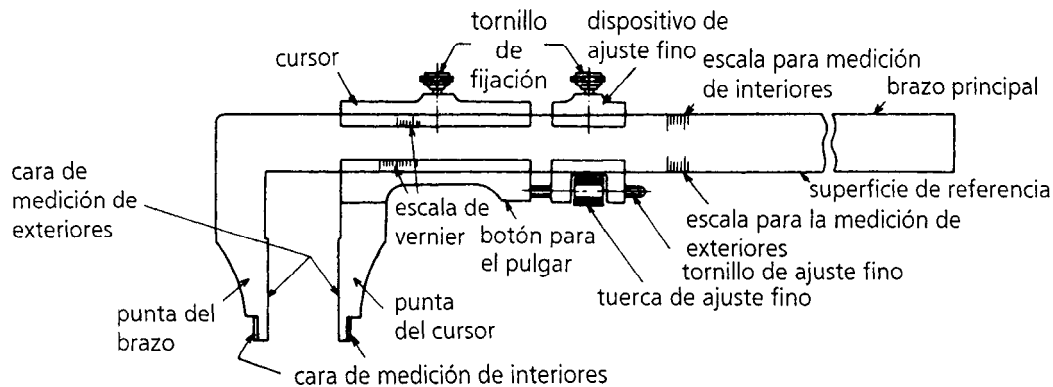


Figura 7.14.

### Calibrador vernier tipo CM

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

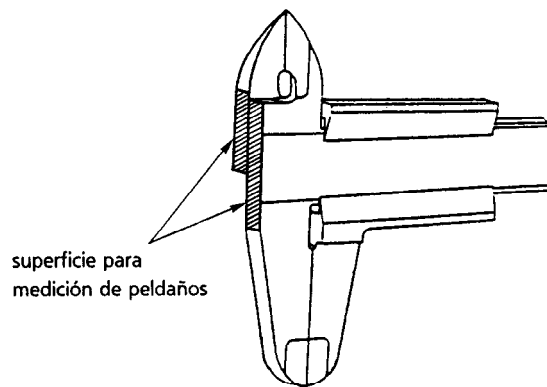


Figura 7.15.

### Otros tipos de calibradores vernier

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

#### *Calibradores vernier tipo M con ajuste fino*

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

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

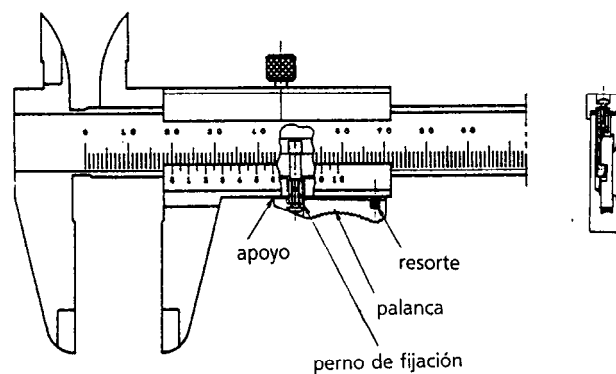
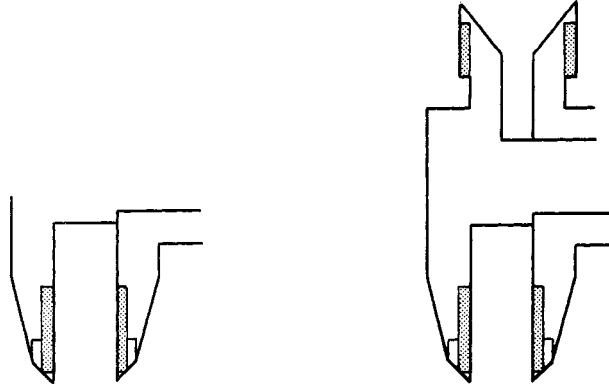


Figura 7.16.

### ***Calibradores con caras de medición de carburo***

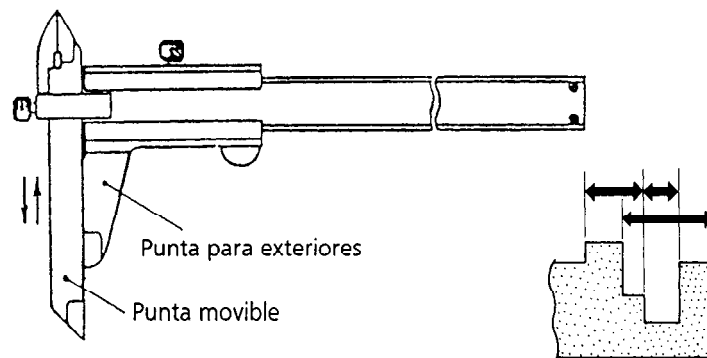
Las caras de medición de los calibradores están sujetas a desgaste, por lo que con el objeto de incrementar la resistencia a la abrasión algunos calibradores tienen insertos de carburo (de tungsteno) en las puntas de medición para exteriores e interiores. Estos calibradores son adecuados para medir piezas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



**Figura 7.17.**

### ***Calibradores vernier con puntas desiguales***

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



**Figura 7.18.**

### Calibradores con punta de medición abatible

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

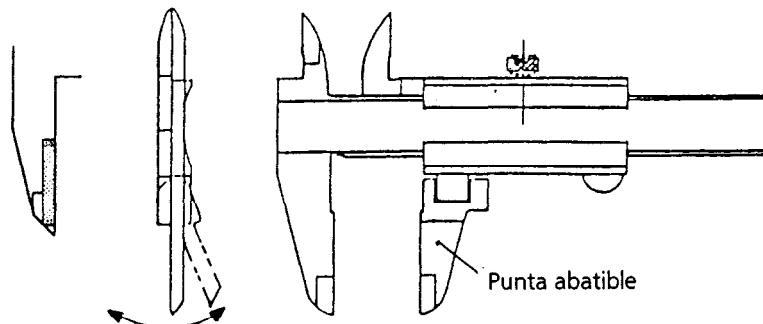


Figura 7.19.

### Calibradores con puntas largas

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

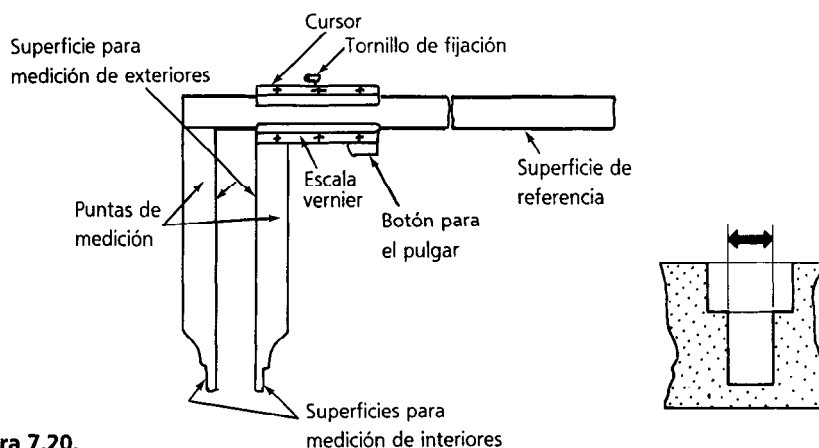


Figura 7.20.

### Calibradores de carátula con fuerza constante

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

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

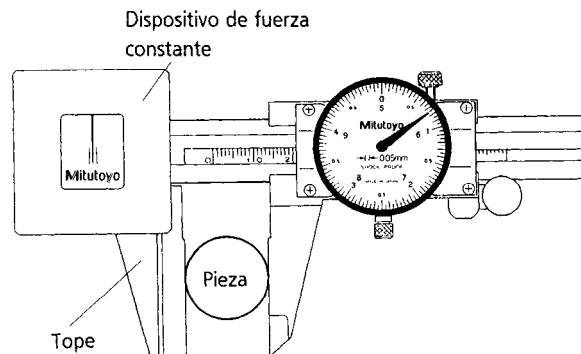


Figura 7.21.

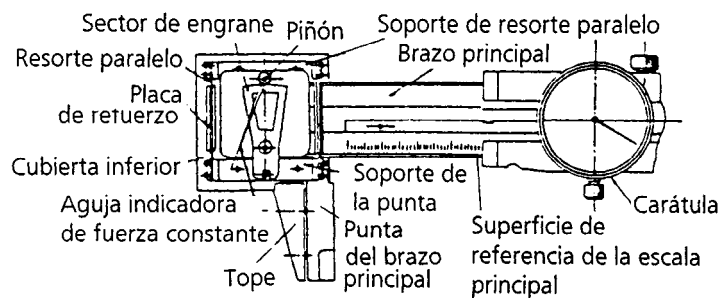


Figura 7.22.

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

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

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

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

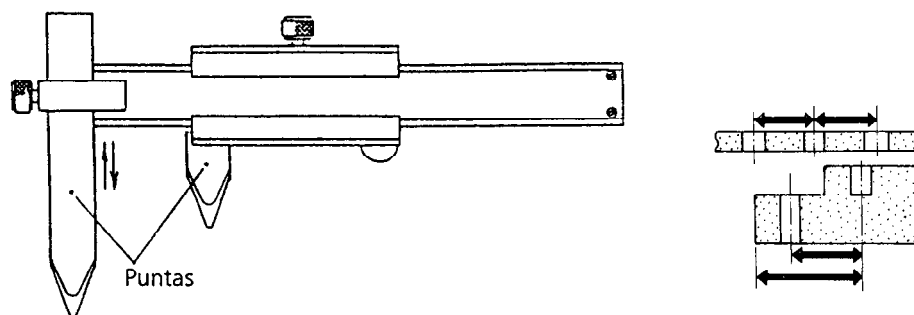
**Tabla 7.3.**

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

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

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

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



**Figura 7.23.**

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

Escala de vernier: 0.05 mm

Rango de medición: 0-150 mm

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

Viene con barra de profundidad

Rango de medición: 0-150 mm

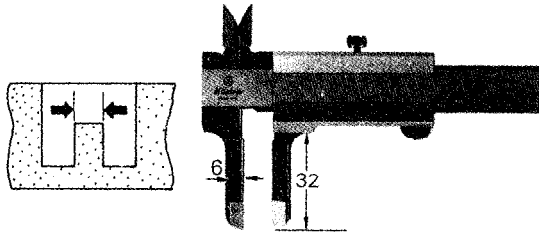


Figura 7.24.

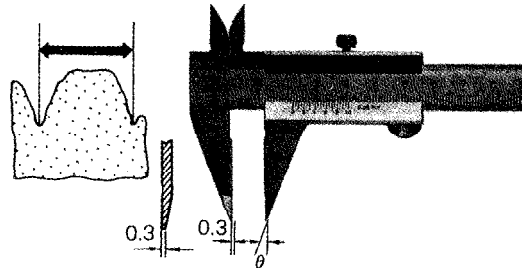


Figura 7.25.

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

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

Escala de vernier: 0.05 mm

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

**Calibrador con vernier para tubos (Fig. 7.27)**

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

Escala de vernier: 0.05 mm

Rango de medición: 0-250 mm

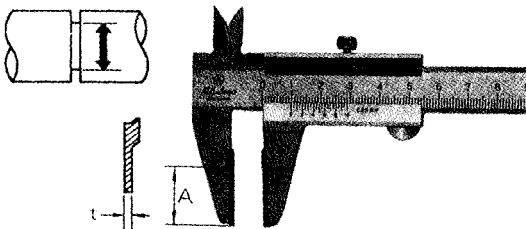


Figura 7.26.

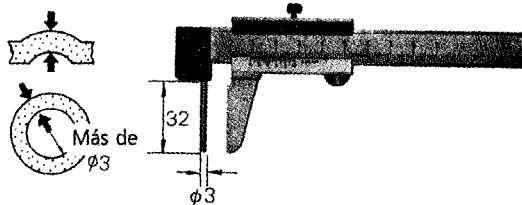


Figura 7.27.

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

Escala de vernier: 0.05 mm

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





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

Escala de vernier: 0.05 mm

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

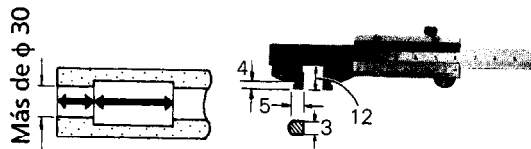


Figura 7.28.

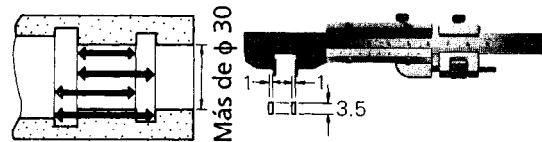


Figura 7.29.

### Mantenimiento de calibradores

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

#### Compra

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

#### Almacenamiento

Observe las siguientes precauciones cuando almacene calibradores:

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

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

### ***Inspección periódica***

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


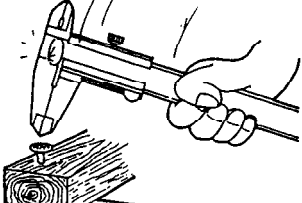
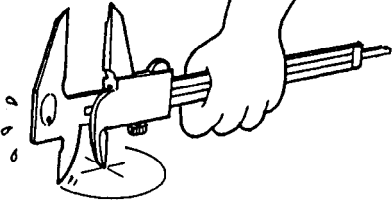
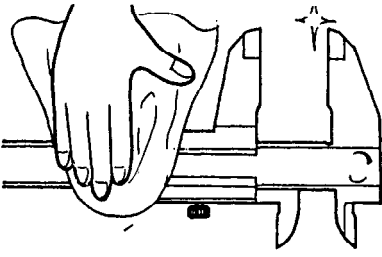
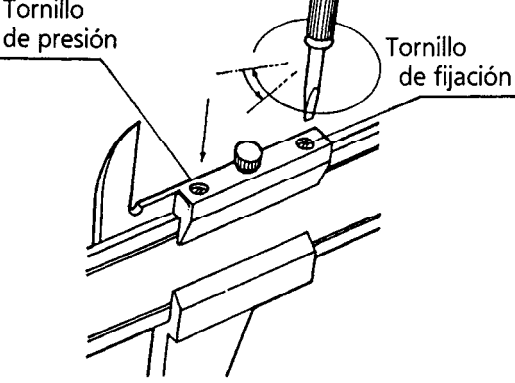
### ***Precauciones durante la utilización de un calibrador***

Observe las siguientes precauciones cuando utilice un calibrador:

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

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

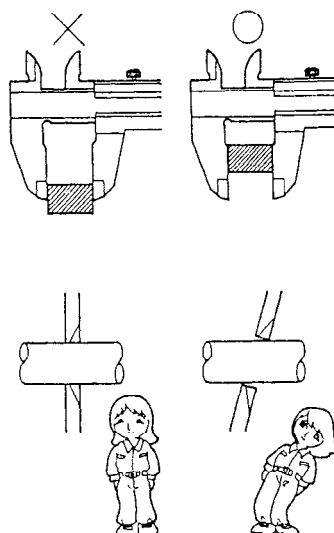
**Precauciones cuando se mida con un calibrador**

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

6

**Medición de exteriores.**

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

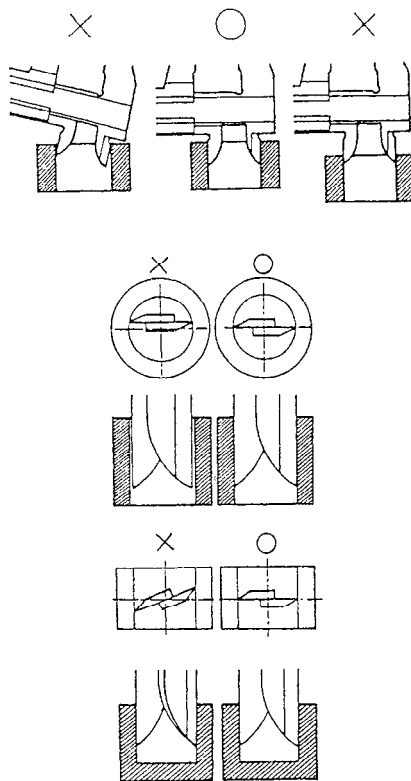


7

**Medición de interiores.**

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

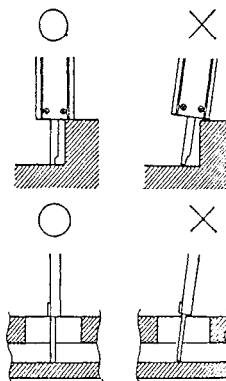
- Cuando mida un diámetro interior lea la escala mientras el valor indicado esté en su máximo.
- Cuando mida el ancho de una ranura, lea la escala mientras el valor indicado esté en su mínimo.



8

Medición de profundidad.

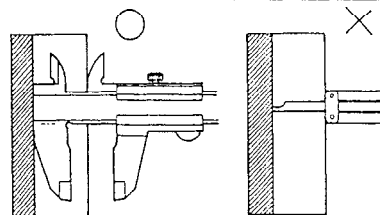
- Tome la medida cuando la cara inferior del cuerpo principal esté en contacto uniforme con la pieza de trabajo.



9

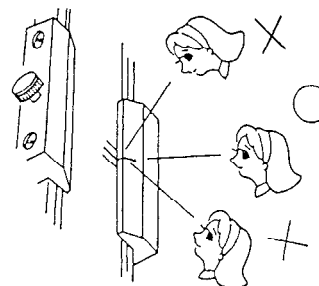
Medición de peldaño.

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



10

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

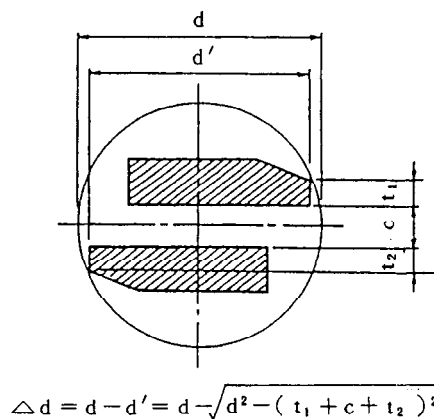


11

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

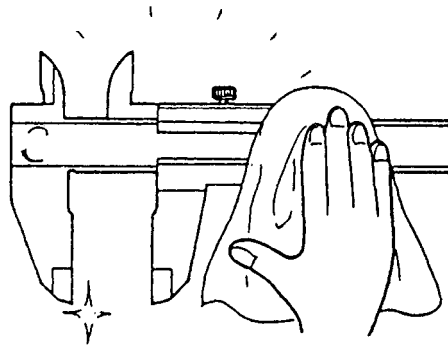
Error cuando se mide una pieza con un agujero cuyo diámetro es 5 mm:

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



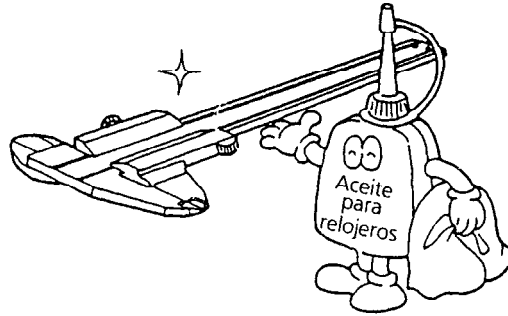
12

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



13

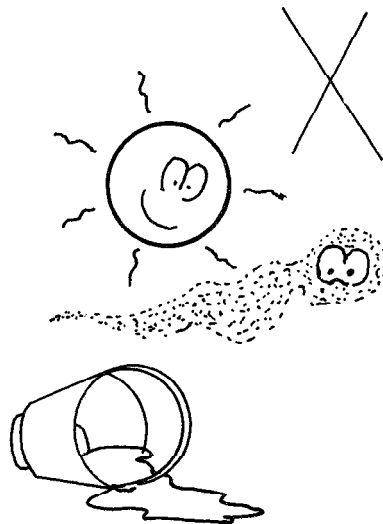
Cuando el calibrador sea almacenado por largos periodos o necesite aceite, use un trapo empapado con aceite para prevenir la oxidación y, ligeramente, frote cada sección del calibrador. Asegúrese de que el aceite se distribuye homogéneamente sobre las superficies.



14

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

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



### Errores de medición con calibradores

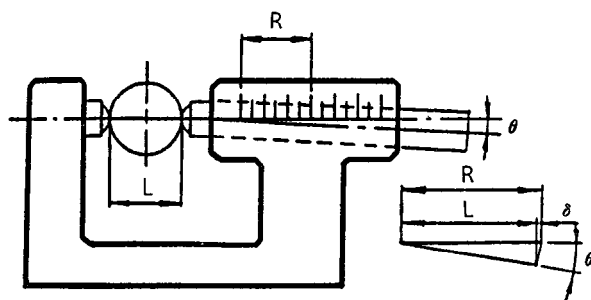
Los siguientes factores afectan la exactitud de medición con calibradores:

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

### Errores inherentes a la construcción de calibradores

#### Error de Abbe

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



$$L - R = -\delta$$

$$L = R \cos \theta$$

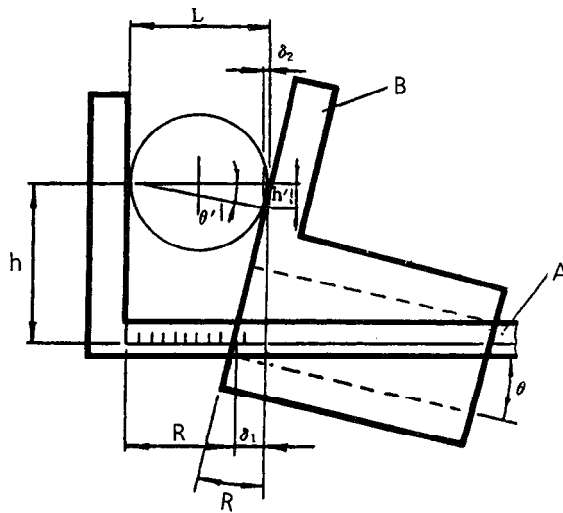
$$R = \frac{L}{\cos \theta} \approx L \left( 1 + \frac{\theta^2}{2} \right)$$

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

Figura 7.30.

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

La figura 7.31 muestra una medición realizada con un calibrador. La pieza es colocada entre las puntas de medición sobre una línea a una distancia  $h$  desde la escala principal A. Suponga que la punta B está inclinada en ángulo  $\theta$  debido al ajuste con juego entre el cursor y el brazo principal, y que el diámetro  $L$  de la pieza es leído como  $R$  sobre la escala principal. Note que el valor  $R$  incluye un error adicional  $\delta_2$  que surge debido a que la punta B toca la pieza en un punto que está a una distancia  $h'$  abajo del diámetro que va a medirse. Así, el error en esta medición se calcula como:



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

donde

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

$$h' = L \theta$$

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

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

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

Figura 7.31.

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

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

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

#### *Error causado por flexión del brazo principal*

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

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

#### *Flexión a lo largo de la superficie de referencia*

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

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

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



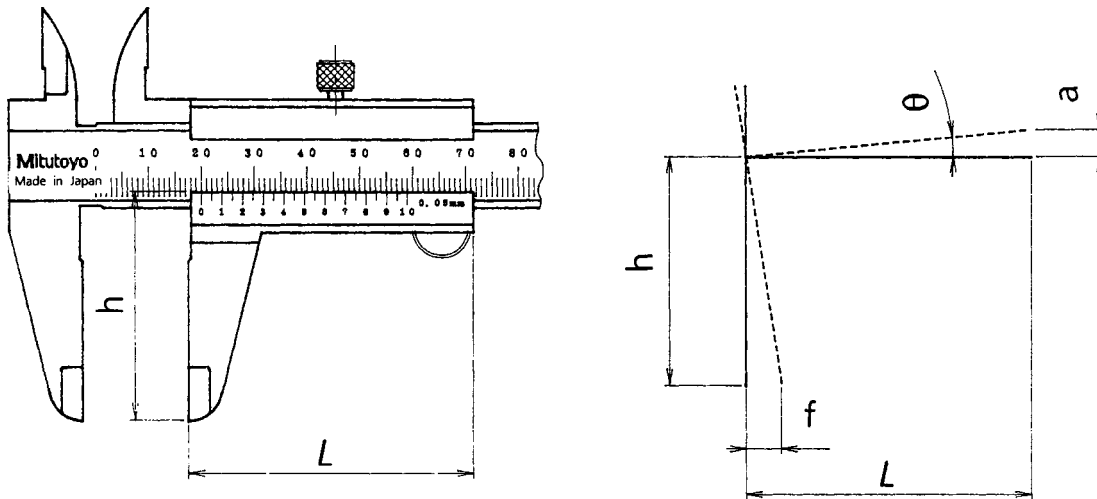


Figura 7.32.

### *Flexión a lo largo de la superficie graduada*

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

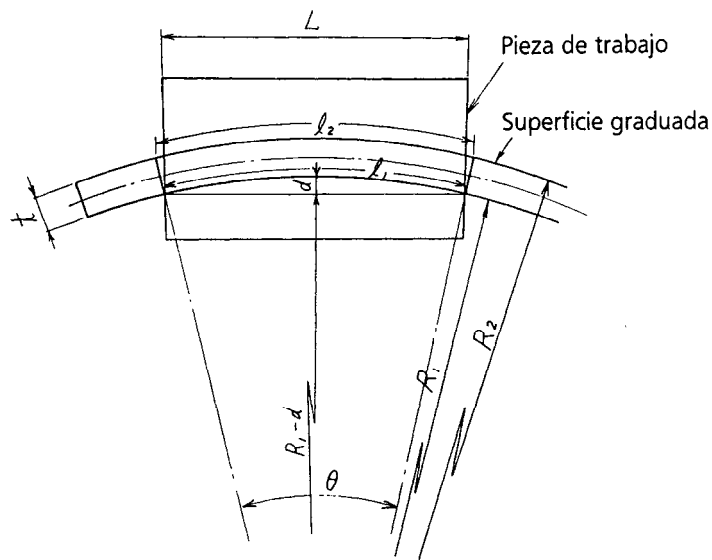


Figura 7.33.

$$E = l_2 - L$$

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

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

$$R_2 = R_1 + t$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### *Desgaste de las puntas de medición*

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

### *Errores en la medición de diámetros interiores*

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



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

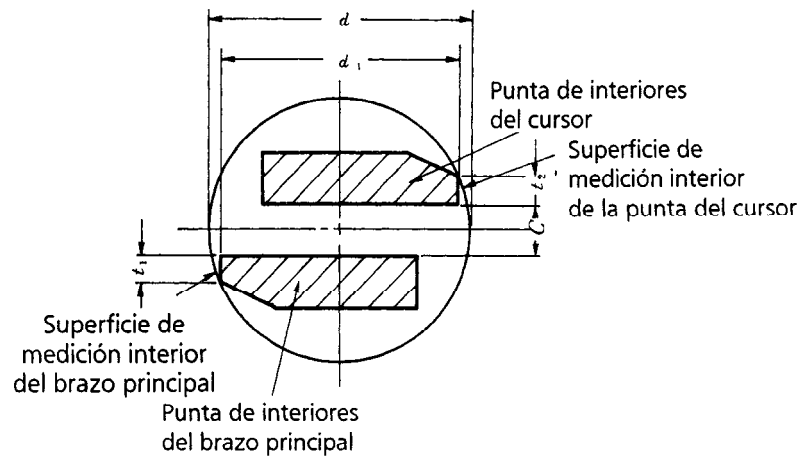


Figura 7.34.

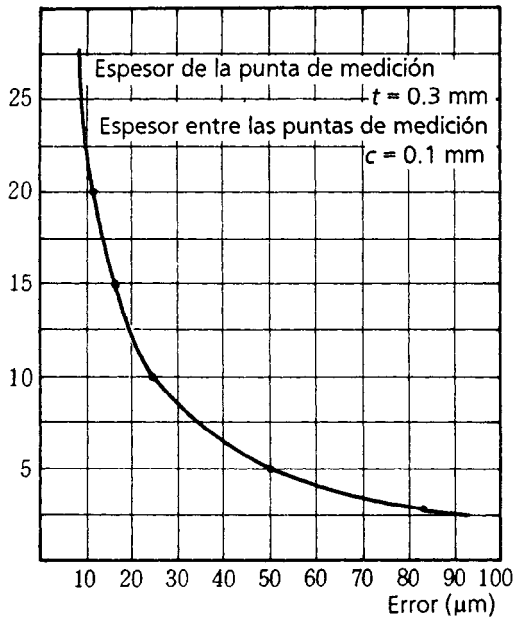
La tabla 7.3 muestra los errores calculados para diferentes valores de  $B$  ( $= t_1 + t_2 + c$ ), entre 0.3 mm y 0.7 mm en incrementos de 0.1 mm.

Tabla 7.3

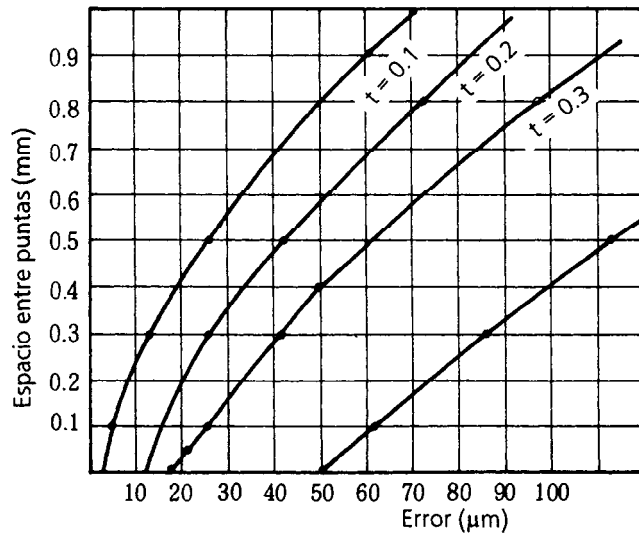
Diámetro del agujero	Corrimiento desde la línea central del agujero B ( $B = t_1 + t_2 + c$ )				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
1.5	0.030	0.050	0.090	0.12	0.17
2	0.023	0.041	0.060	0.09	0.13
2.5	0.018	0.032	0.050	0.07	0.10
3	0.015	0.027	0.042	0.06	0.08
3.5	0.013	0.023	0.036	0.05	0.07
4	0.011	0.020	0.031	0.045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

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

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



Gráfica 7.1.



Gráfica 7.2

### Lectura del vernier y paralaje

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

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

### La habilidad del ojo para reconocer el alineamiento de dos graduaciones

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

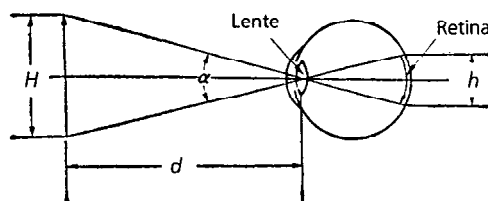
El poder de reconocimiento es la habilidad para reconocer la forma de un objeto (múltiples celdas visuales son estimuladas).

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

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

### *Poder de resolución del ojo*

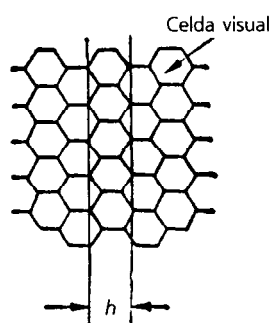
Las lentes del ojo enfocan inconscientemente. Cuando un objeto es puesto en foco a la distancia de la visión distinta (250 mm), la distancia desde la lente a la retina es, aproximadamente, 15.5 mm (Fig. 7.35).



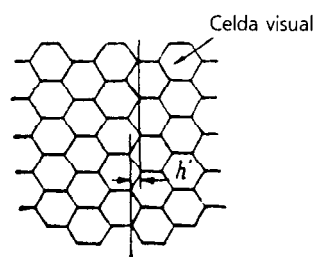
**Figura 7.35.** Estructura del ojo.

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

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



**Figura 7.36.**



**Figura 7.37.**

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

#### Datos experimentales sobre el poder de reconocimiento de dos líneas alineadas

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

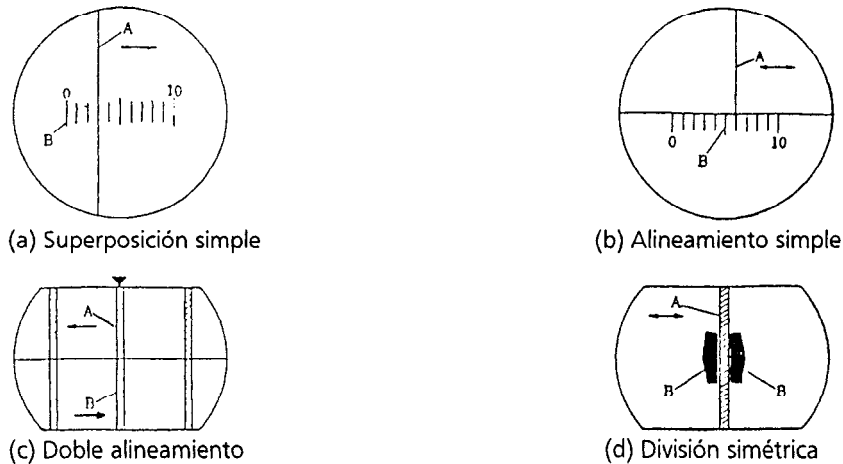


Figura 7.38.

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

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

### Error de paralaje

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

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

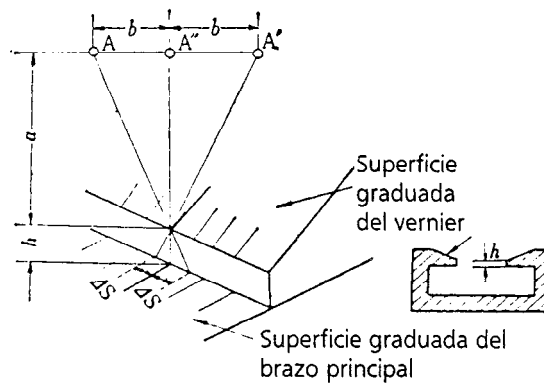


Figura 7.39.

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

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

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

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

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

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

### *Expansión térmica*

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

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

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

Donde:

$\alpha$  = coeficiente de expansión térmica (/°C)

$L$  = longitud medida

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

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

Donde:

$t$  = temperatura °C

$\alpha_1$  = coeficiente de expansión térmica de la pieza

$\alpha_2$  = coeficiente de expansión térmica del calibrador

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

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

Donde

$t_1$  = temperatura de la pieza

$t_2$  = temperatura del calibrador

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

Si tenemos:



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

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

Entonces:

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

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

### *Fuerza de medición*

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

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

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

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

## **CALIBRADORES DE CARÁTULA**

### **Introducción**

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

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

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

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

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

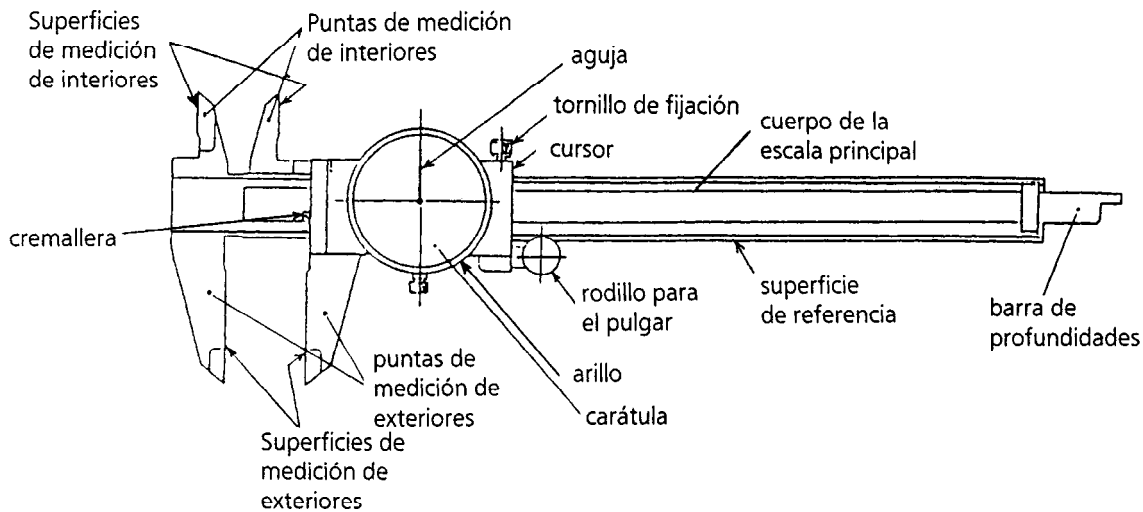
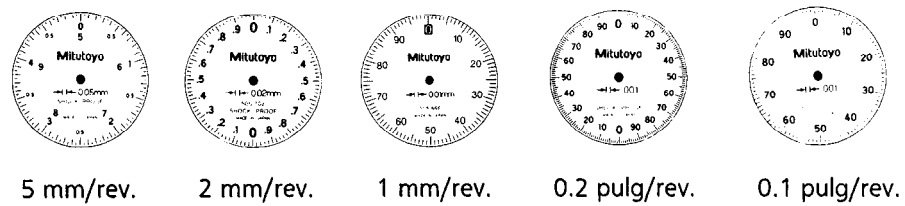


Figura 7.40.

Tabla 7.5.

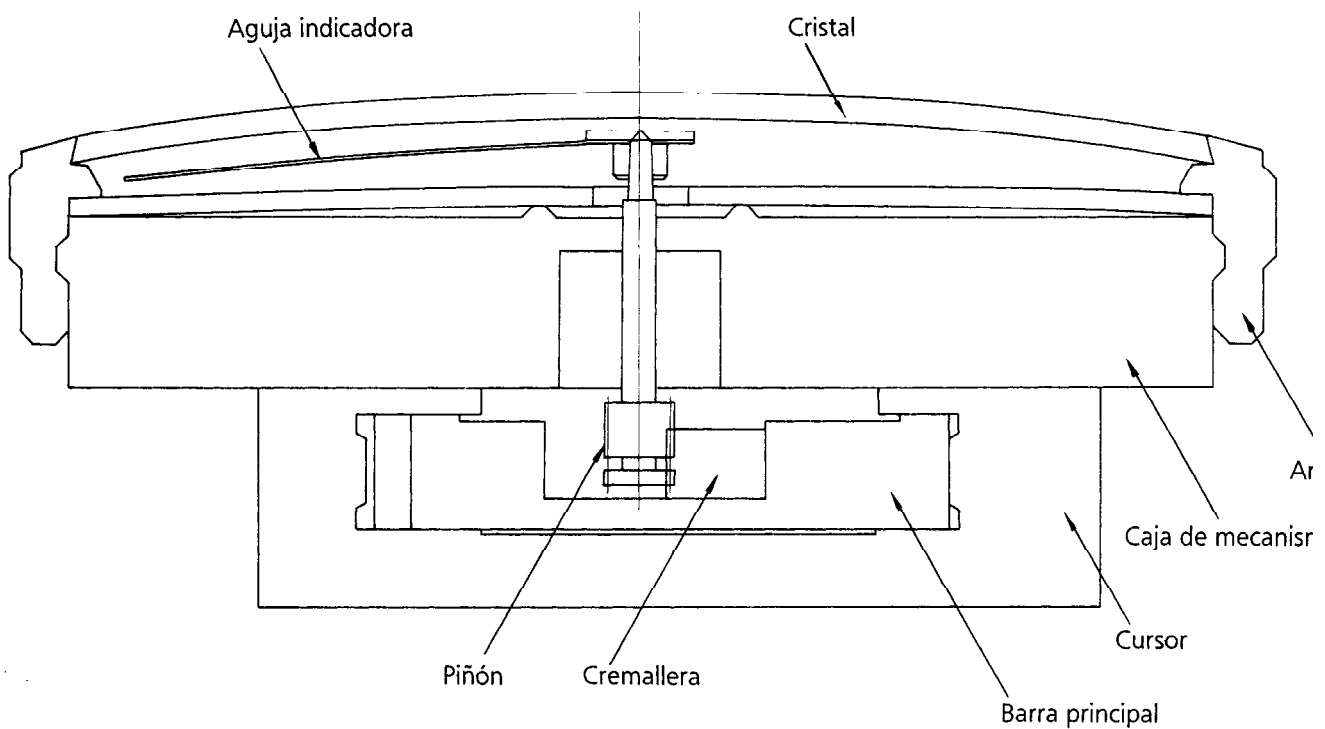
Métrico			Inglés		
División	Graduaciones en la carátula	Desplazamiento x Revolución	División	Graduaciones en la carátula	Desplazamiento x Revolución
0.05 mm	100 divisiones alrededor de la circunferencia	5 mm/rev.	.001 pulg	100 divisiones alrededor de la circunferencia	.1 pulg/rev
0.02 mm	100 divisiones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

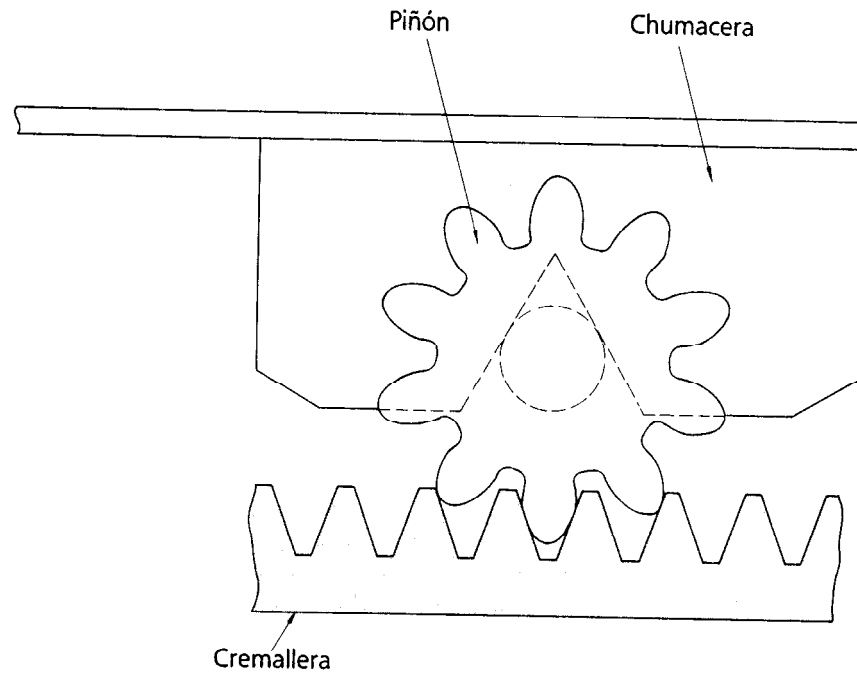
**Figura 7.41**

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

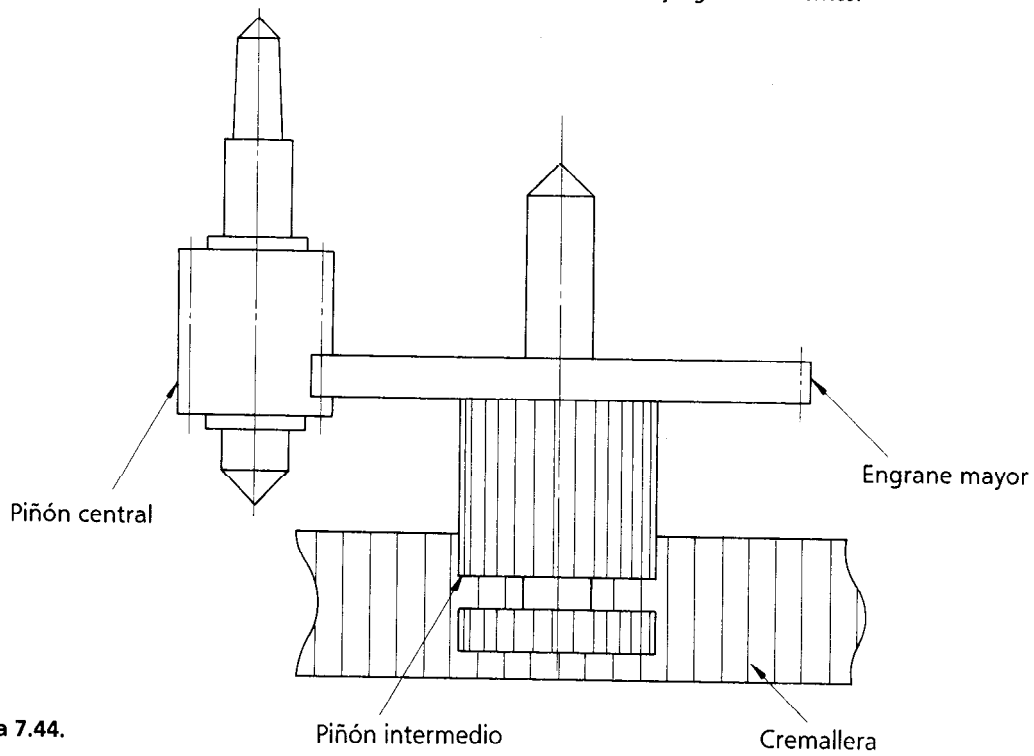
El juego entre los dientes en el montaje de la cremallera y el piñón, es presionado contra la cremallera por el muelle plano llamado chumacera. Las mediciones son siempre estables debido a que es un mecanismo libre de juego entre los dientes.

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

**Figura 7.42.** Construcción del indicador de carátula.



**Figura 7.43.** Mecanismos de eliminación de juego entre dientes.



**Figura 7.44.**



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

### **Juego entre dientes**

#### ***El juego entre dientes de la cremallera y el piñón intermedio***

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

#### ***Juego entre dientes del engrane mayor con el piñón central***

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

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

### **Características del mecanismo**

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

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

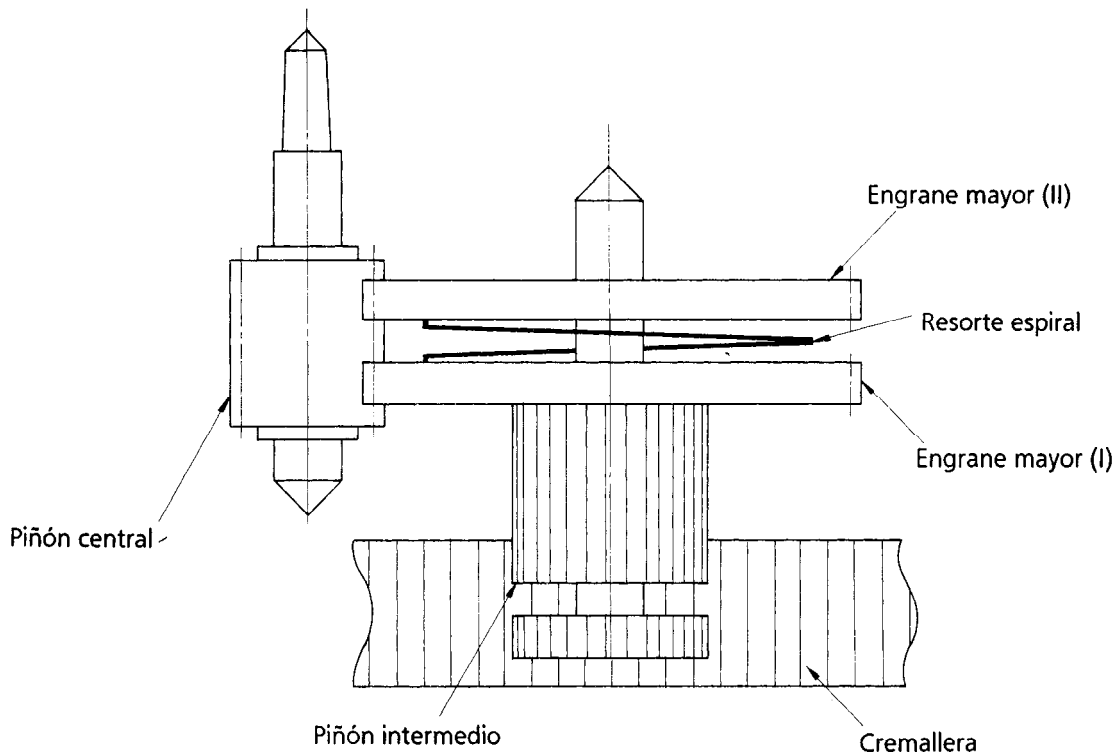
Por el contrario, el dibujo (B) en la figura 7.46 muestra el caso en el que el piñón intermedio se desplaza en línea recta a lo largo de la superficie de referencia de la barra de la escala principal, la cual es la guía del cursor, independientemente de la rectitud de la cremallera.

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

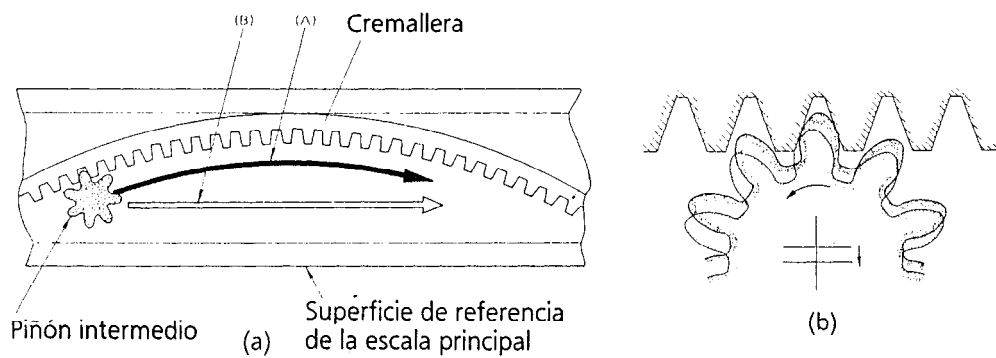
La manera en que el piñón sigue o no a la cremallera es de gran importancia cuando se considera la exactitud en las medidas. Brevemente, la exactitud para el calibrador de carátula del mecanismo del tipo (A) es mayor en un 40-50% respecto de calibradores del mismo tipo (B).

#### ***El ajuste a cero es posible***

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



**Figura 7.45.** Mecanismo de eliminación del juego entre dientes.



**Figura 7.46.** Representación exagerada del movimiento del piñón.

### A. Causas del desplazamiento de la aguja

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

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

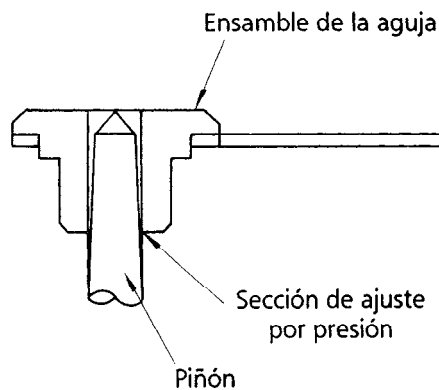


Figura 7.47.

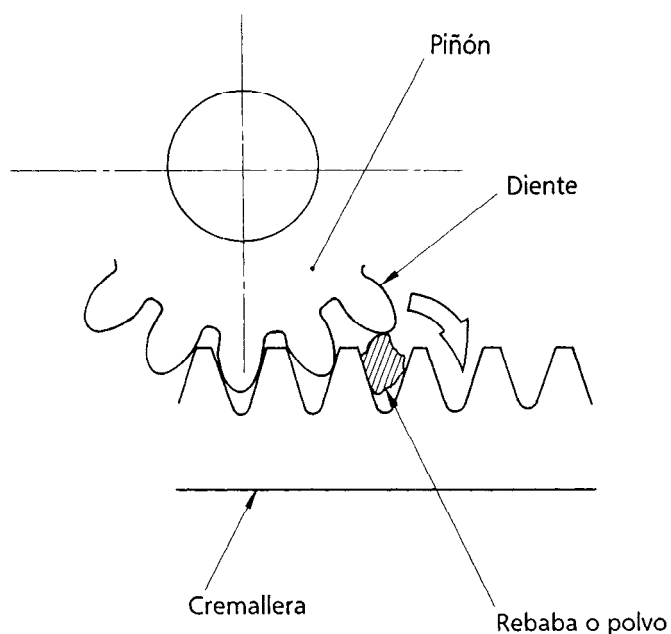


Figura 7.48.

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

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

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

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

### B. Cómo hacer el ajuste

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

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

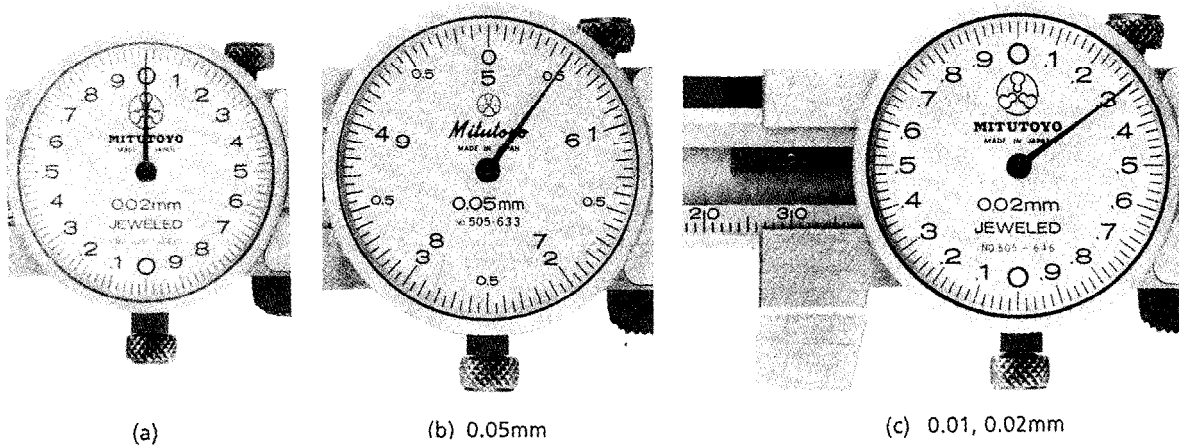


Figura 7.49.

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

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



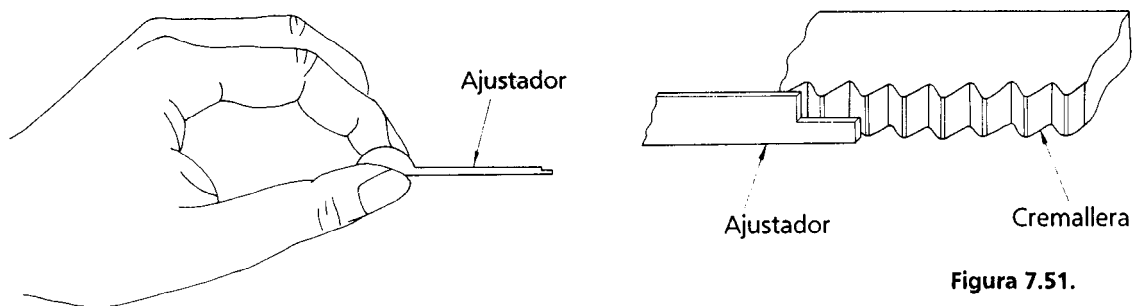


Figura 7.50.

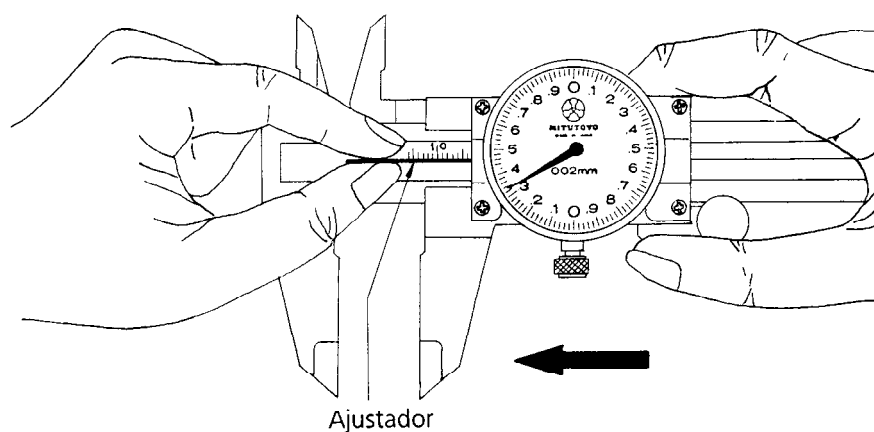


Figura 7.52.

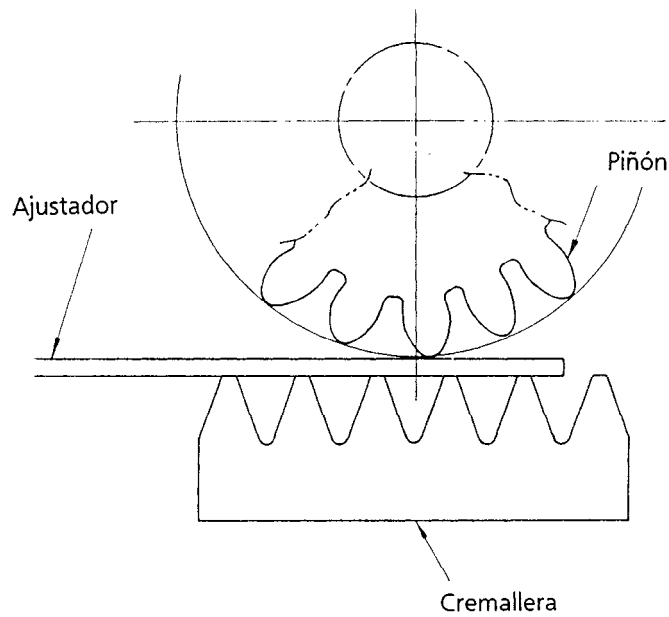
Tenga cuidado de no mover el cursor si nota falta de suavidad o se atora al deslizarse, ya que el piñón o el mecanismo de joyería pueden dañarse.

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

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

### *Ajuste de la fuerza de rotación del arillo*

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



**Figura 7.53.**

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

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

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

### **Uso apropiado del calibrador de carátula**

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

#### ***1. Ajuste del cursor***

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

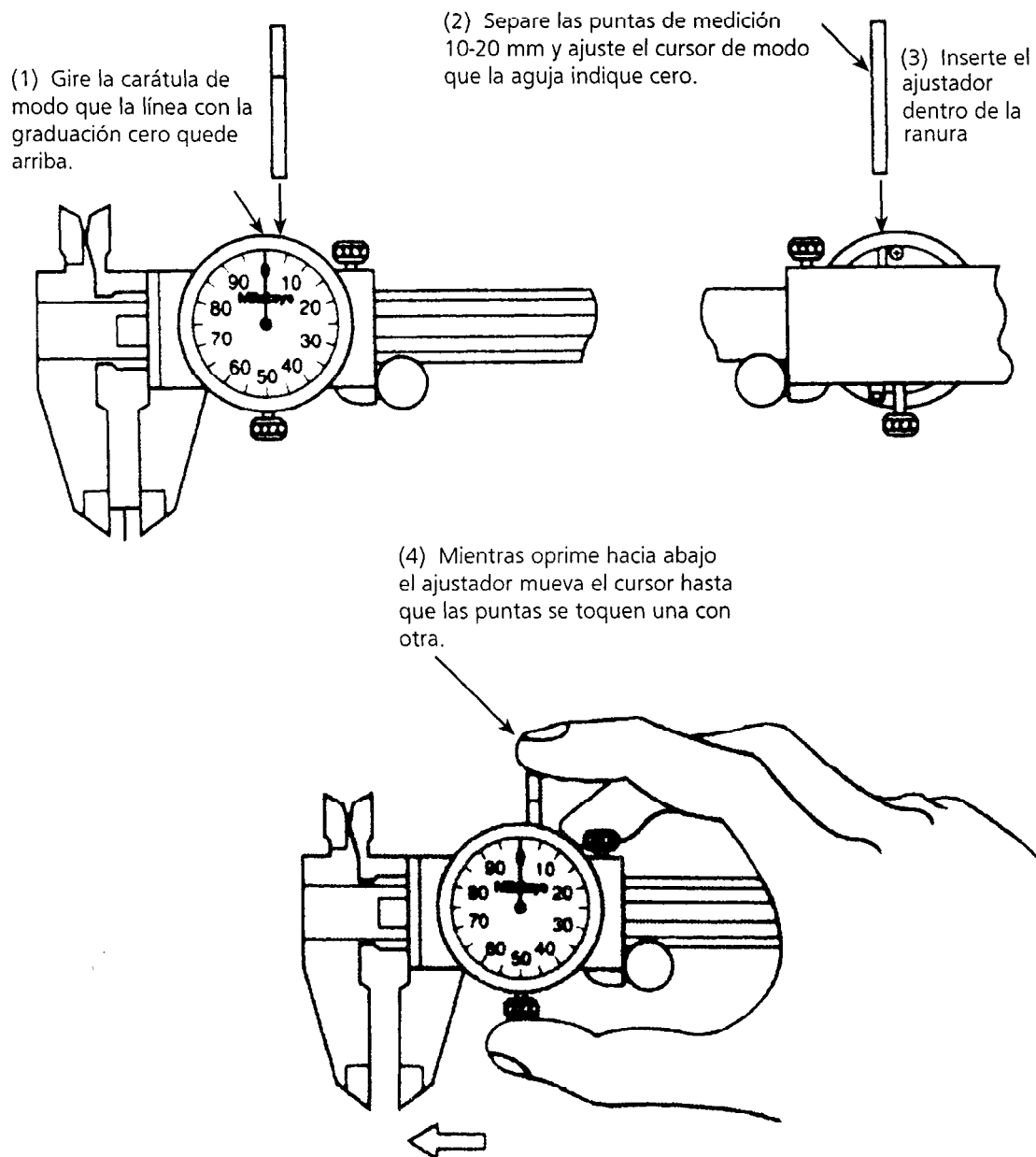


Figura 7.54.

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



Figura 7.55.

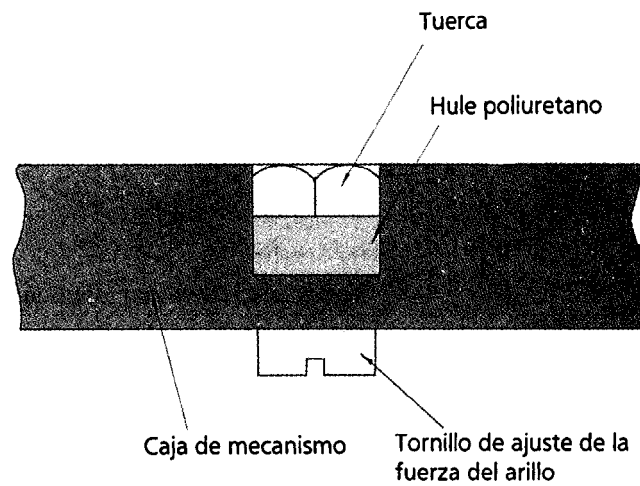


Figura 7.56

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

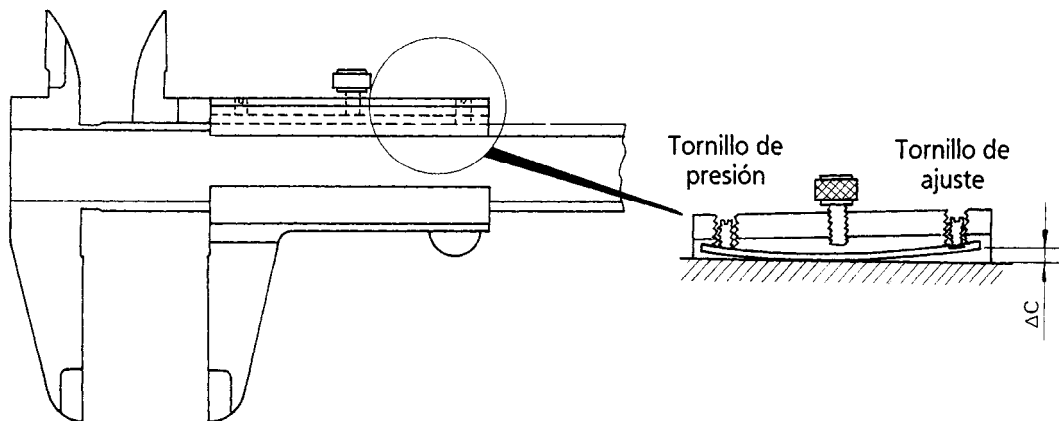
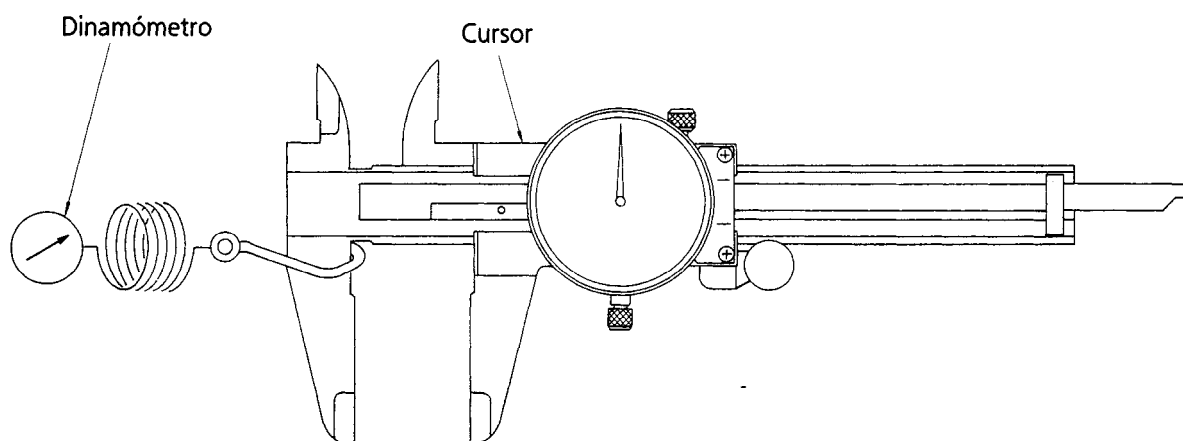


Figura 7.57.

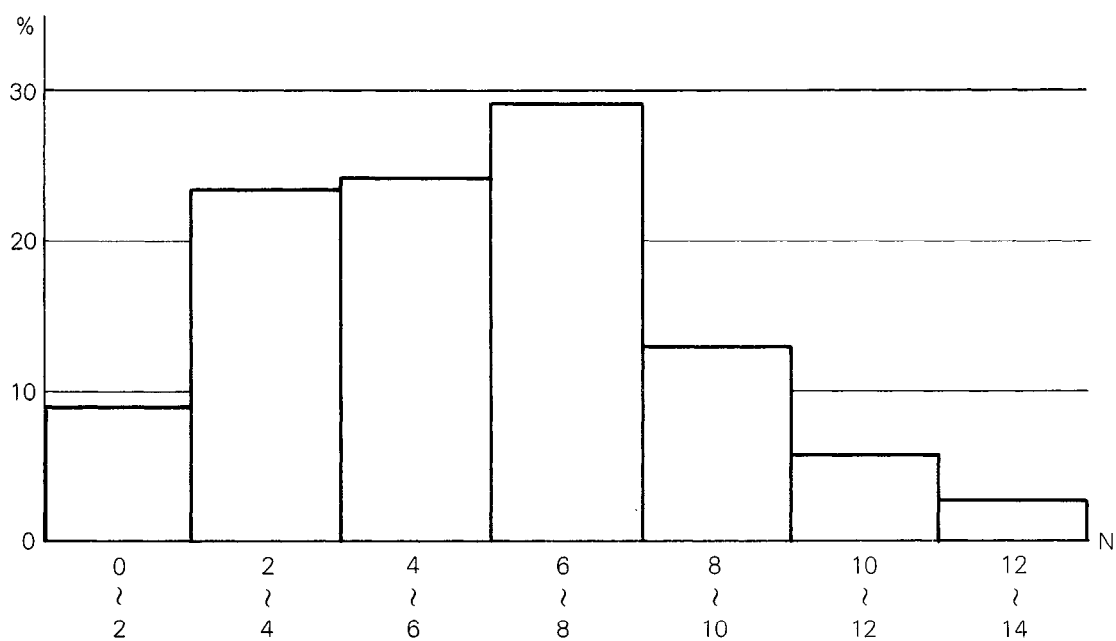
La fuerza de deslizamiento es la fuerza necesaria para mover con suavidad el cursor a una velocidad constante y puede medirse, como se muestra en la figura 7.58, con un dinamómetro.



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

## 2. Efecto de la fuerza de medición

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



**Figura 7.59.** Dispersión de la fuerza de medición

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

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

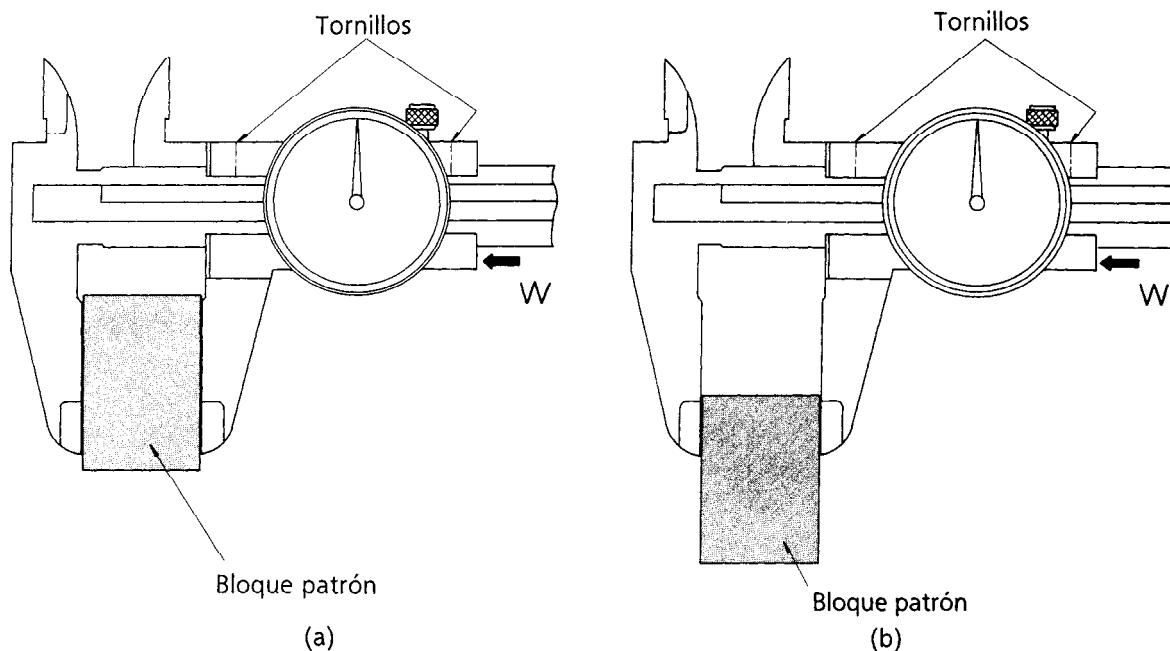


Figura 7.60.

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

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

### 3. Ajuste adecuado a cero

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



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

#### 4. Servicio

##### *Limpieza*

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

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

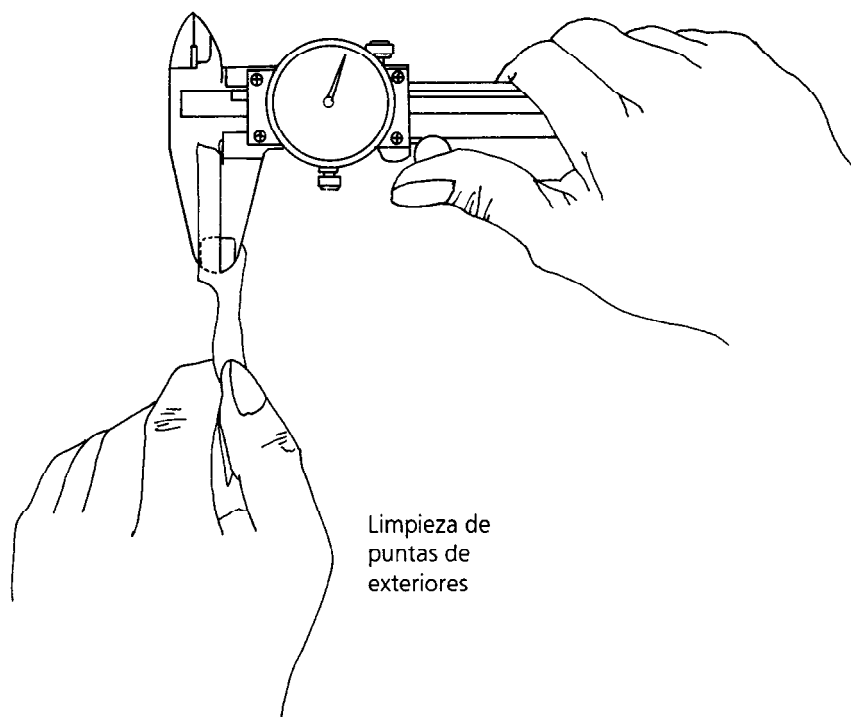


Figura 7.61.

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

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

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

### ***Comprobando antes de medir***

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

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

### ***Almacenamiento***

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

## **5. Bosquejo de reparación**

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

### ***Cómo quitar el arillo***

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

### ***Cómo extraer la aguja del ensamble***

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



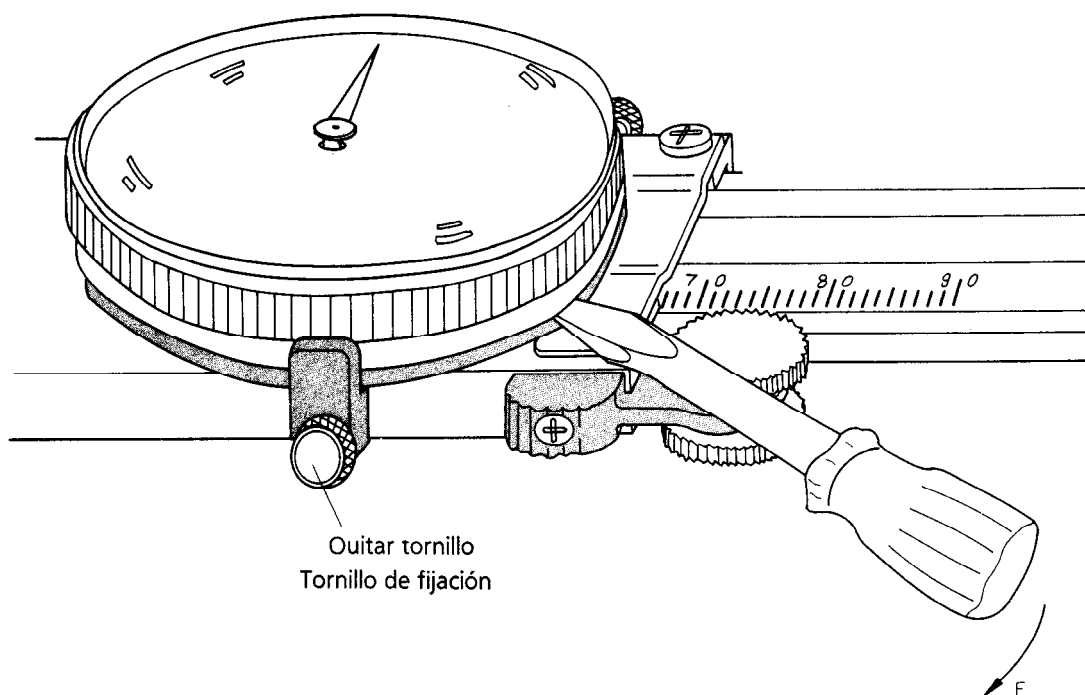


Figura 7.62.

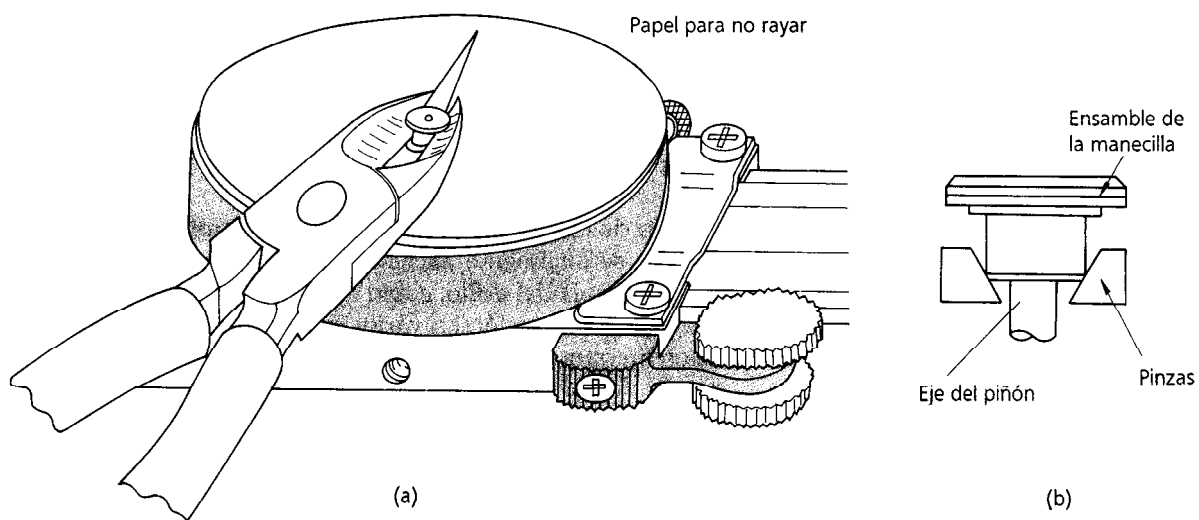


Figura 7.63.

### *Reemplazo del ensamble del mecanismo*

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

#### *Graduación de .05 mm ó .001"*

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

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

- *Para reemplazar el piñón:*

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

- *Para reemplazar el soporte:*

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

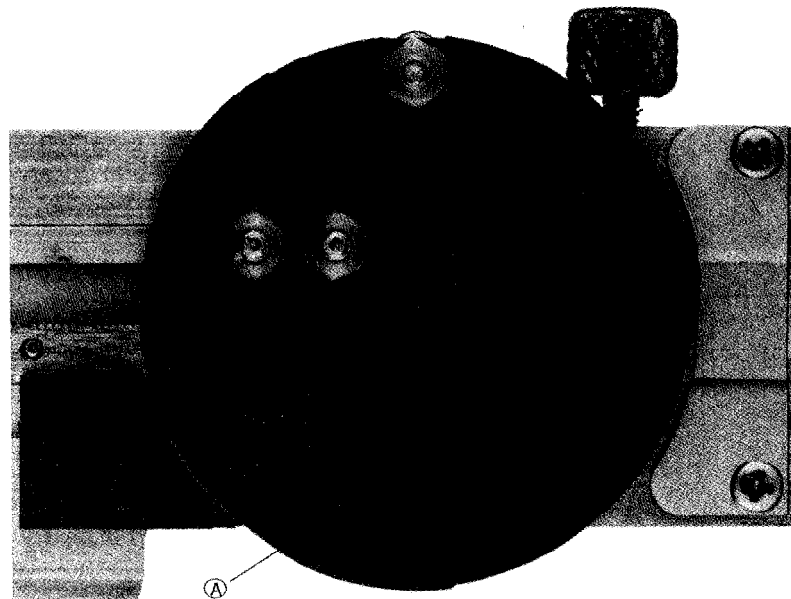


Figura 7.64.

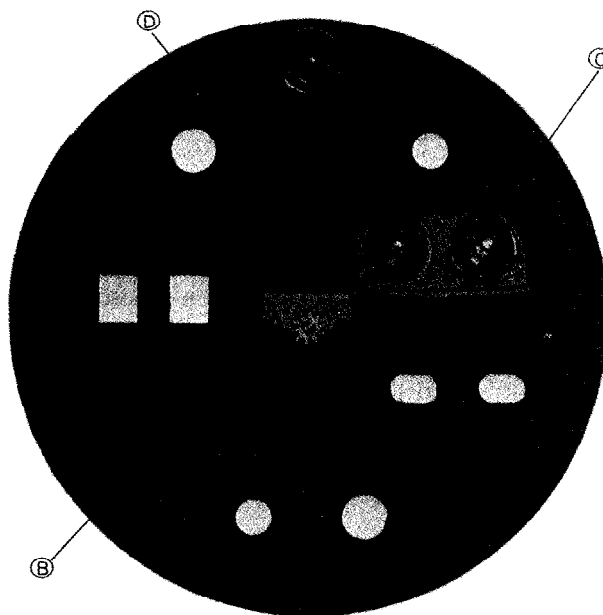


Figura 7.65.

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

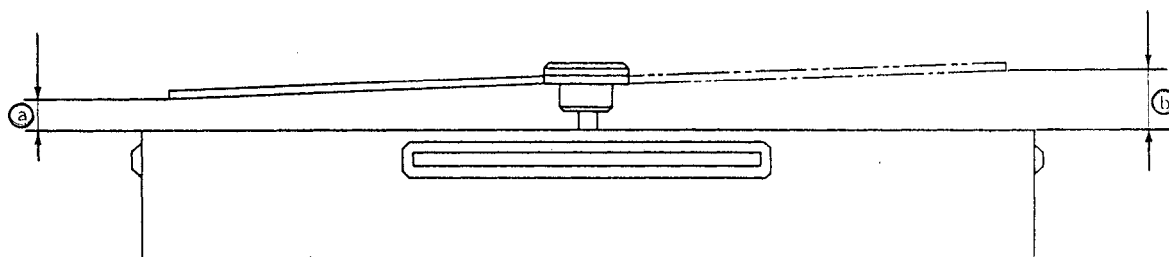


Figura 7.66.

*En el de graduación de 0.02 mm ó .001 pulg*

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

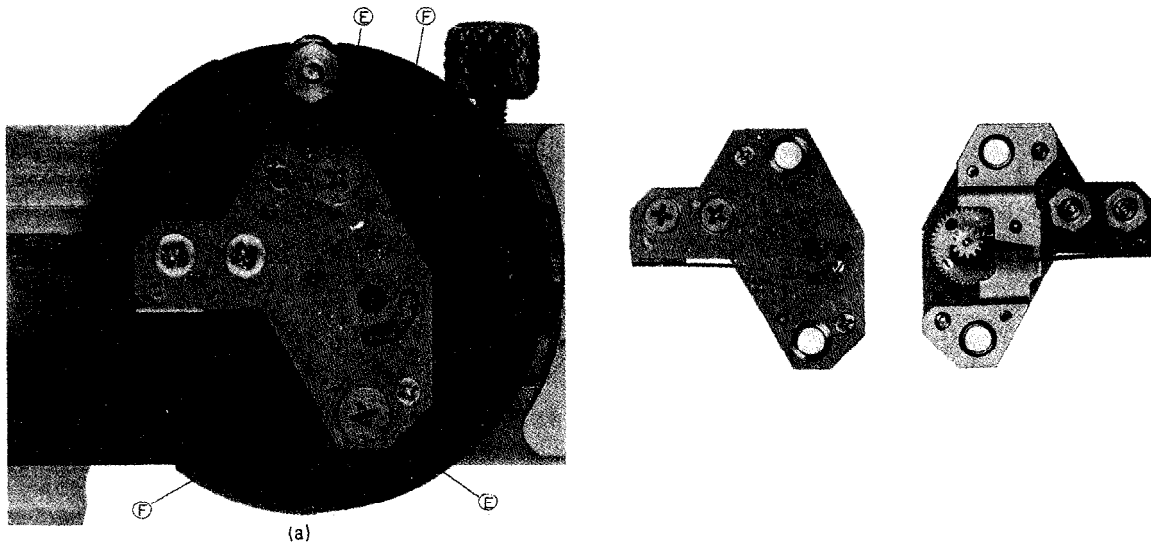


Figura 7.67.

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

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

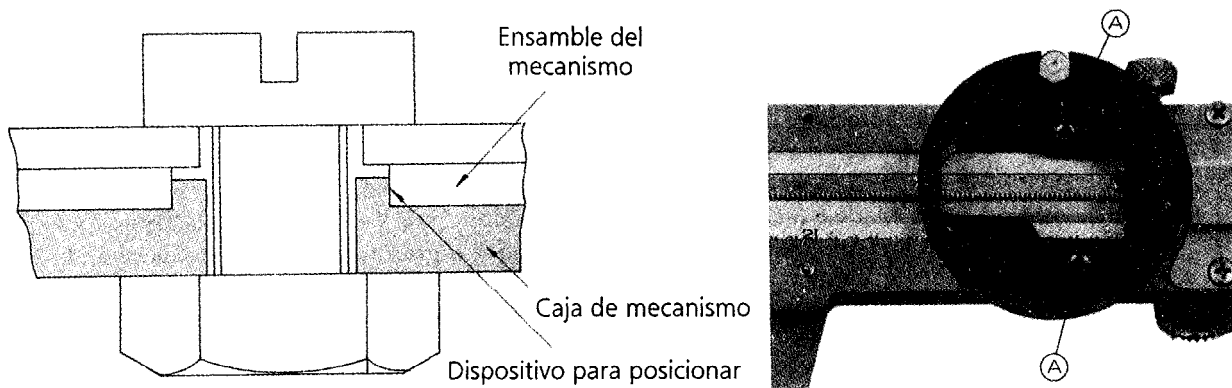


Figura 7.68.

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

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

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

### ***Reemplazo de la cremallera***

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

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

### **Recomendación**

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

## **CALIBRADORES ELECTRODIGITALES**

### **Introducción**

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

### **Tamaños y tipos de calibradores electrodigitales**

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

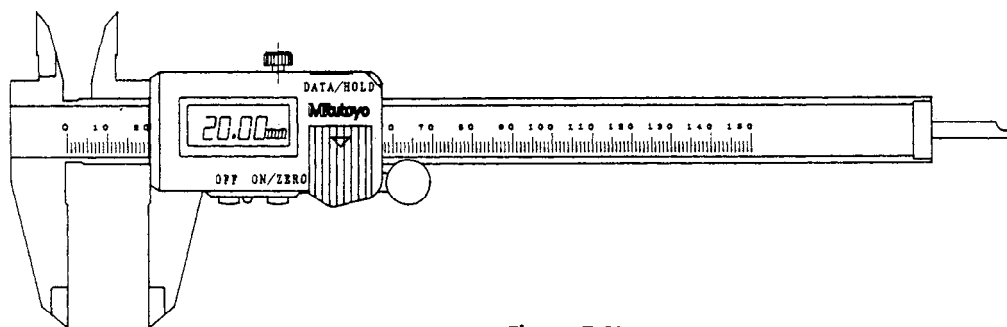


Figura 7.69.

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

### **Características**

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

#### ***Facilidad de lectura***

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

#### ***Compacto, liviano y bajo consumo de energía***

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

#### ***Datos de referencia***

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

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

***Función de fijado del cero***

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

***Alta velocidad de respuesta***

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

***Función de salida de datos***

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

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

***Datos de referencia:***

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

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

**Estructura**

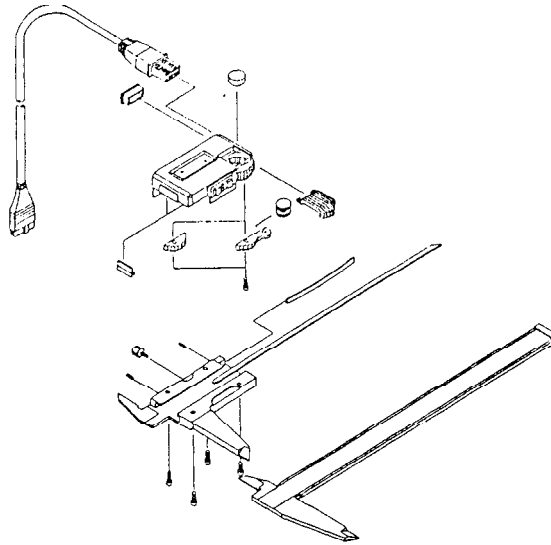
El calibrador electrodigital consiste de un brazo principal, un cursor —como el calibrador vernier convencional—, una unidad de escala de desplazamiento y una unidad de lectura. La figura 7.70 muestra la estructura de este tipo de calibrador.

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

**Requerimientos funcionales del sensor**

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

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



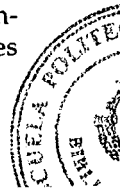
**Figura 7.70.**

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

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

### **Principio de detección de los calibradores electrodigitales**

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





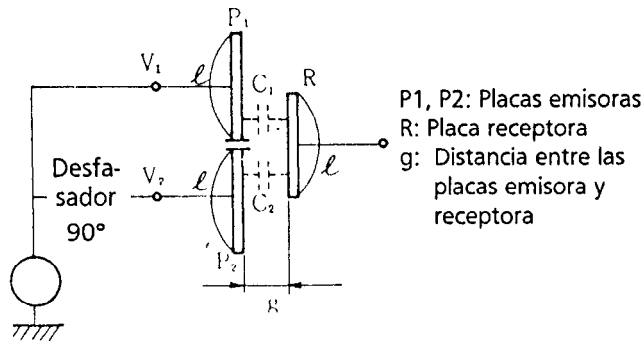


Figura 7.71.

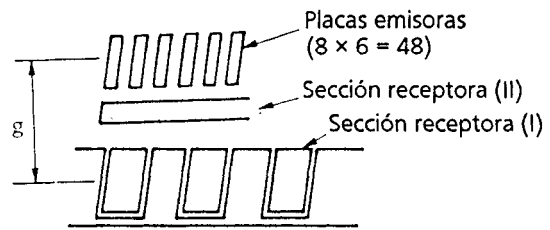


Figura 7.72.

### Microprocesador

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

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

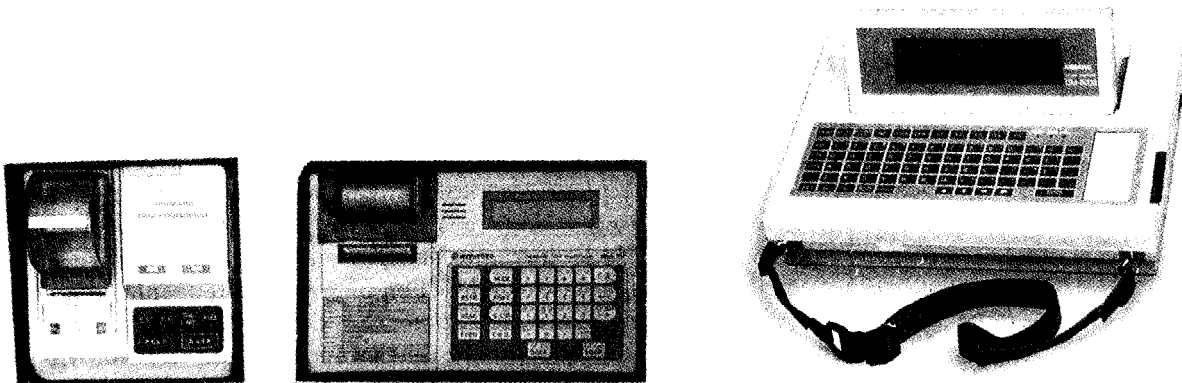


Figura 7.73.

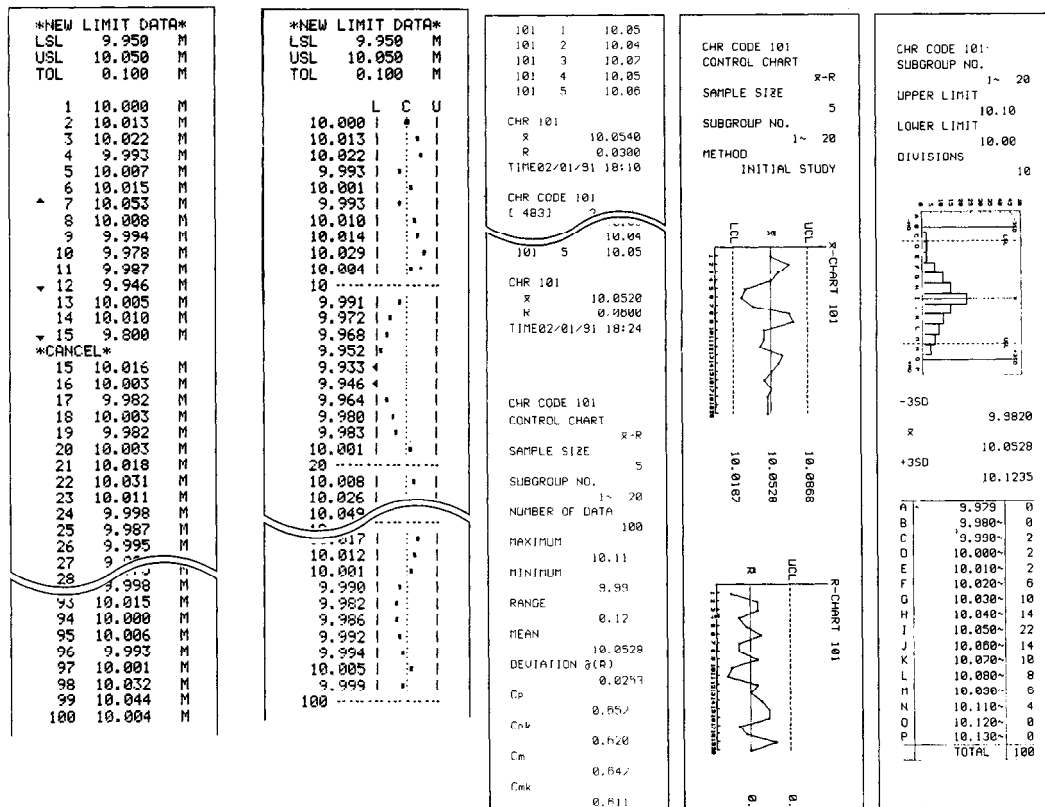


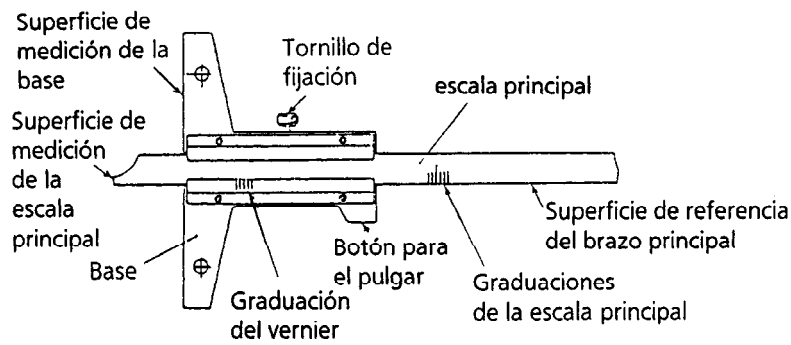
Figura 7.74.

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

## MEDIDORES DE PROFUNDIDAD

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

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



(a)

Figura 7.75.

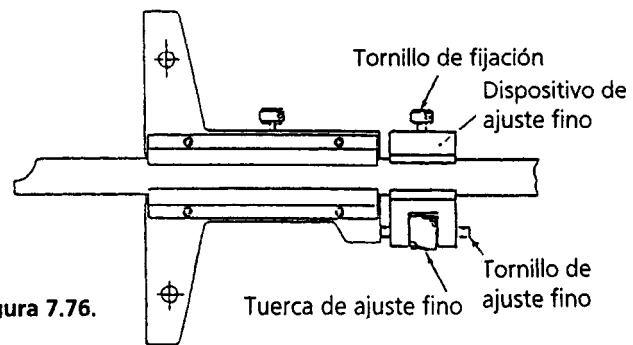
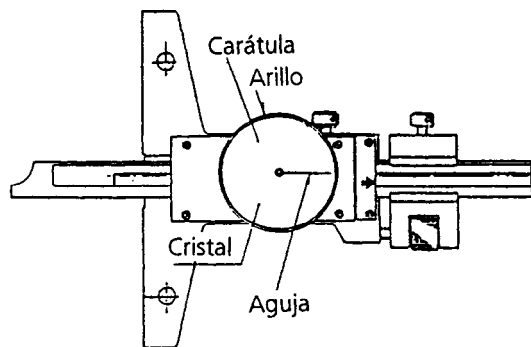


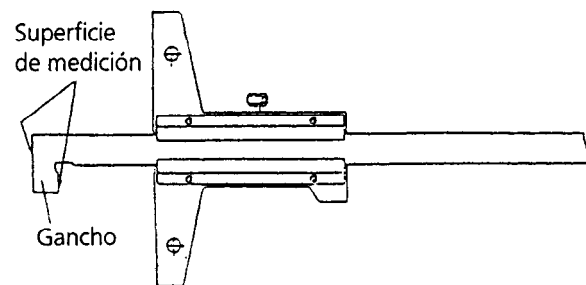
Figura 7.76.

(b)



(c)

Figura 7.77.



(d)

Figura 7.78.

### Nomenclatura

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

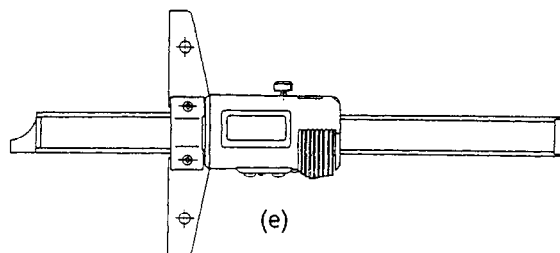


Figura 7.79.

### Tipo y construcción

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

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

Tabla 7.6.

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

### Ejemplo de uso

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

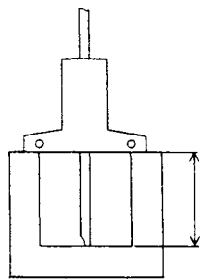


Figura 7.80.

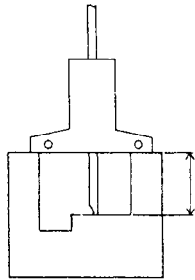


Figura 7.81.

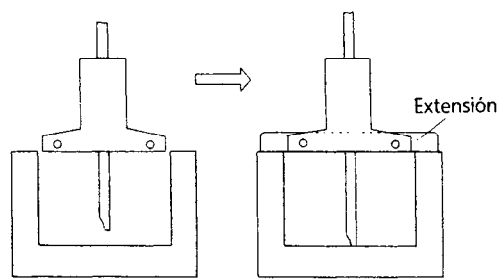


Figura 7.82.

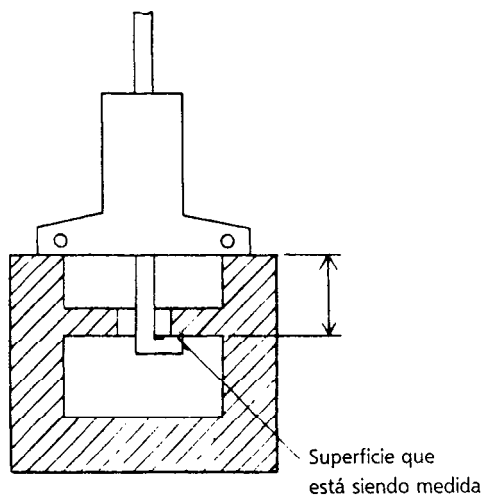


Figura 7.83.

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

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

### Comparación de la exactitud de medición

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

# Medidores de altura

## INTRODUCCIÓN

El medidor de altura es un dispositivo para medir la altura de piezas o las diferencias de altura entre planos a diferentes niveles; también es utilizado como herramienta de trazo. El medidor de altura, creado por medio de la combinación de una escala principal con una vernier para realizar mediciones rápidas y exactas, cuenta con un solo palpador (trazador) y la superficie sobre la cual descansa (generalmente una mesa de granito), actúa como plano de referencia para realizar las mediciones.

En la actualidad los medidores de altura se clasifican en los siguientes cuatro tipos, según su sistema de lectura.

Con vernier  
Con carátula  
Con carátula y contador  
Electrodigital

## MEDIDOR DE ALTURA CON VERNIER

La figura 8.1 muestra la construcción básica del medidor de altura con vernier. La figura 8.2 ilustra el mecanismo de ajuste fino y la figura 8.3 muestra el mecanismo con que cuentan en la actualidad para el movimiento vertical de la escala principal, lo que permite ajustar fácilmente a cero el medidor.

Las graduaciones normales de los medidores de altura con vernier se muestran en la tabla 8.1 y la figura 8.4.

**Tabla 8.1.**

Sistema	Graduación		Legibilidad
	Escala principal	Escala vernier	
métrico	1.0 mm	50 divisiones en 49 mm	0.02 mm
	1.0 mm	20 divisiones en 19 mm	0.05 mm
	1.0 mm	20 divisiones en 39 mm	0.05 mm
inglés	.02 pulg	25 divisiones en 1.225 pulg	.001 pulg
	.05 pulg	50 divisiones en 2.45 pulg	.001 pulg

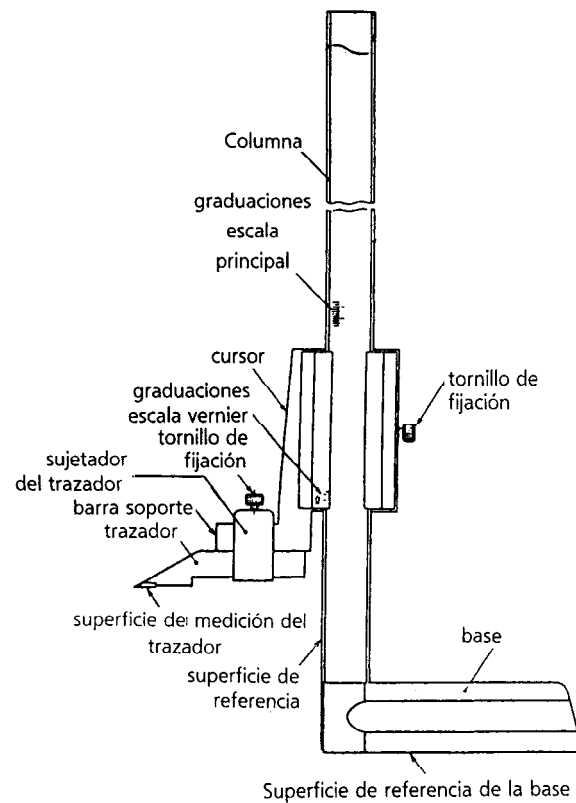


Figura 8.1.

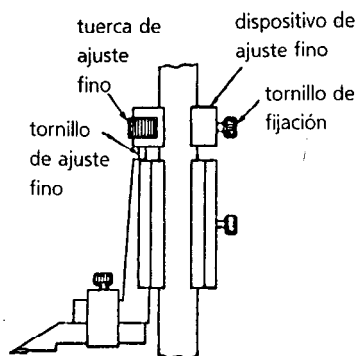


Figura 8.2.

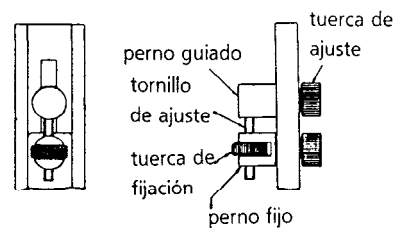


Figura 8.3.

Existe también un tipo que tiene una escala principal graduada en incrementos de 0.5 mm, pero actualmente es poco utilizado. Las legibilidades más comunes de los medidores de altura son 0.02, para el sistema métrico (SI), y .001 pulg. para el sistema inglés. Algunos medidores de altura tienen ambas graduaciones.

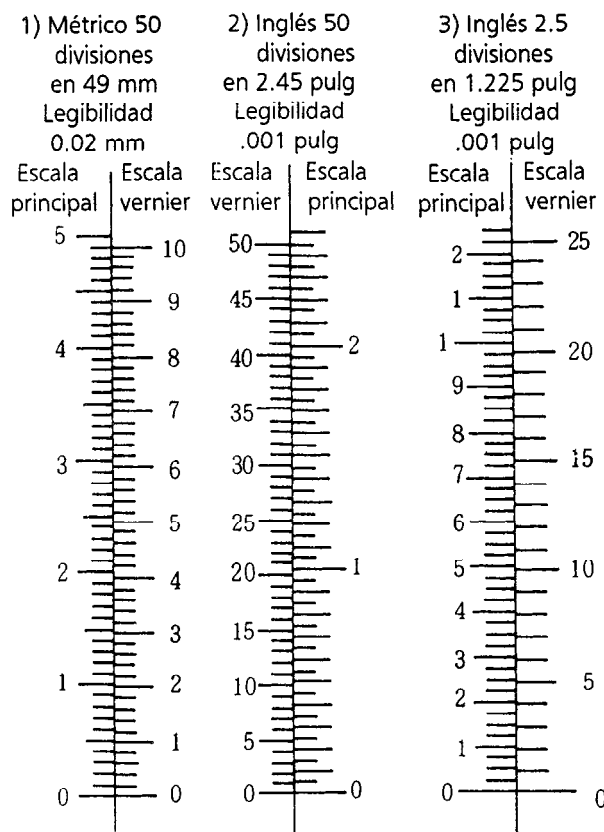


Figura 8.4.

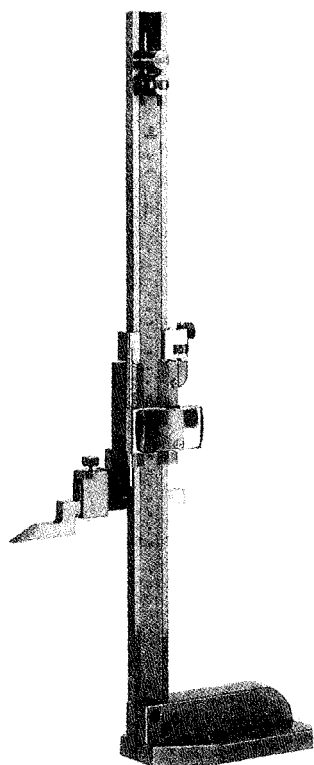


Figura 8.5.

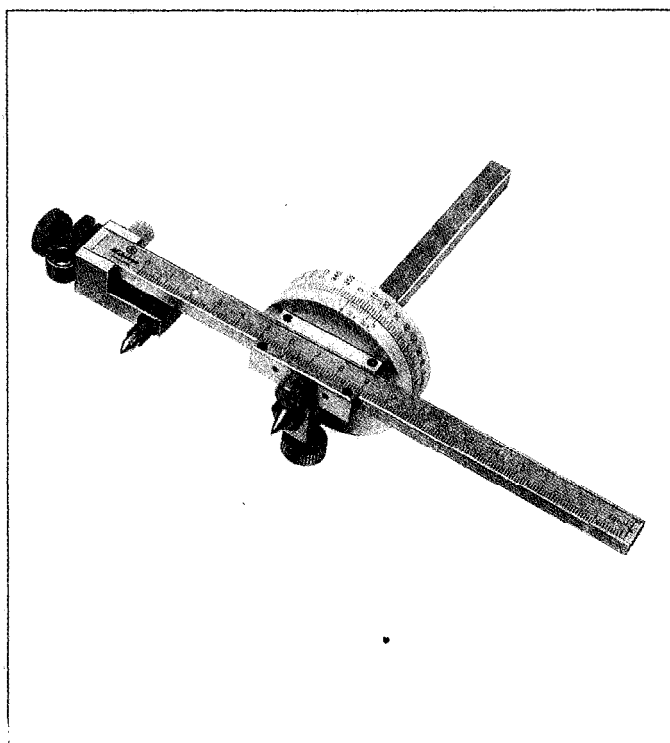


Figura 8.6.



La figura 8.5 muestra un medidor de altura con una lente de aumento que facilita la lectura; la figura 8.6 ilustra un trazador de círculos sobre planos verticales de piezas que puede sujetarse colocándolo en vez del trazador.

Con el propósito de eliminar la tendencia común de aplicar fuerza excesiva cuando se toman mediciones, tal vez sea útil emplear un sensor de contacto como el que muestra la figura 8.7, el cual consiste en una delgada batería, imanes permanentes y un indicador rojo que se enciende cuando el trazador toca piezas conductivas. Esto mejora la exactitud y repetibilidad de las mediciones realizadas.



Figura 8.7.

### PRECAUCIONES CUANDO SE MIDA CON MEDIDORES DE ALTURA

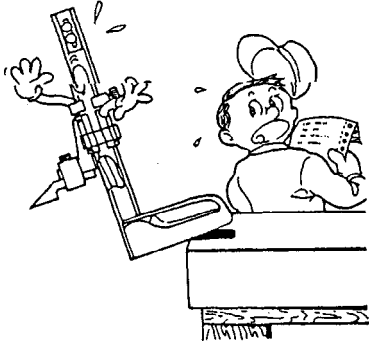
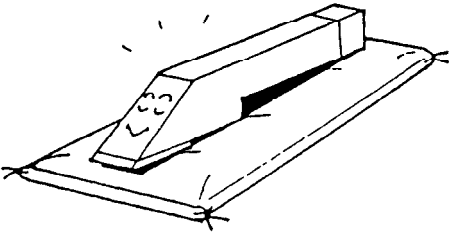
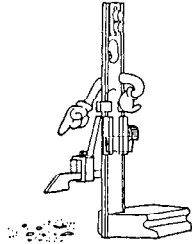
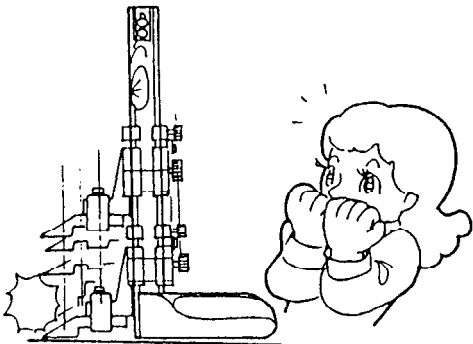
Las figuras de las tres páginas siguientes ilustran algunos cuidados básicos de los medidores de altura.

1.

Seleccione el medidor de altura que mejor se ajuste a su aplicación.

Asegúrese de que el tipo, rango de medición, graduación y otras especificaciones del medidor de altura son apropiadas para la aplicación deseada.



<p>2.</p> <p>No aplique fuerza excesiva al medidor de altura.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No lo deje caer ni lo golpee.</li> </ul>	
<p>3.</p> <p>Tenga cuidado de no dañar la punta para trazar.</p>	
<p>4.</p> <p>Elimine cualquier suciedad o polvo antes de usar su medidor de altura.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpie todas las superficies deslizantes, la cara inferior de la base y la cara de medición del trazador.</li> </ul>	
<p>5.</p> <p>Verifique el movimiento del cursor. No debe sentirse suelto o tener juego. Corrija cualquier problema que encuentre, ajustando el tornillo de presión y el de fijación (como se mencionó para el calibrador).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apriete los tornillos de presión y de fijación, después aflójelos, en sentido contrario a las manecillas del reloj, aproximadamente 30°.</li> <li>• Verifique otra vez el movimiento del cursor.</li> <li>• Repita el procedimiento anterior mientras ajusta la posición angular de los tornillos hasta que no obtenga un movimiento adecuado del cursor.</li> </ul>	

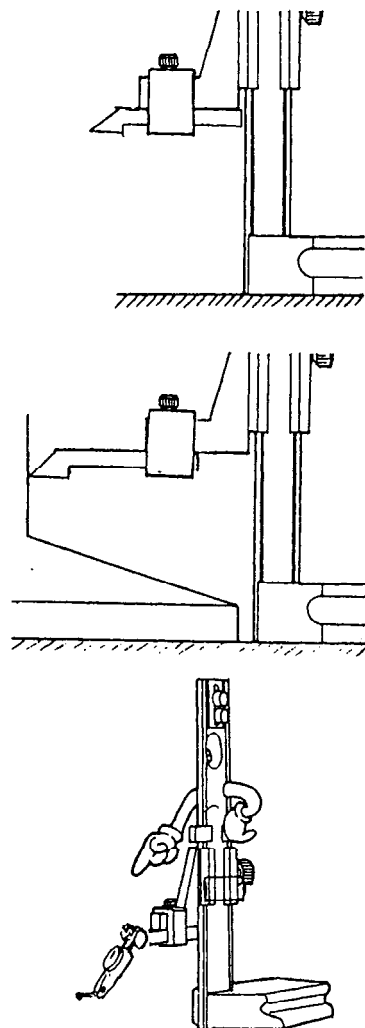


6.

Elimine cualquier polvo que haya en la superficie de la base y en la pieza de trabajo y déjelos (junto al medidor de altura) un periodo lo suficientemente largo para estabilizar la temperatura ambiente.

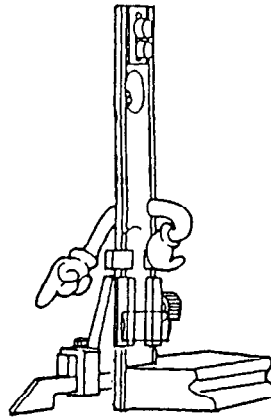
7.

La distancia desde la columna de referencia a la punta trazadora o la punta de contacto del indicador de carátula tipo palanca debe ser tan corta como sea posible.



8.

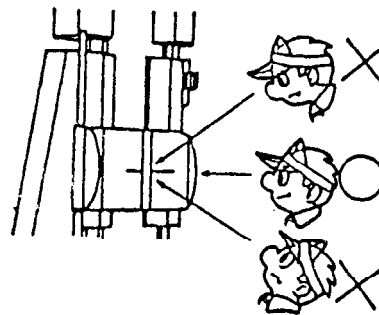
Ajuste la línea cero de la escala tomando como referencia la superficie de apoyo.



9.

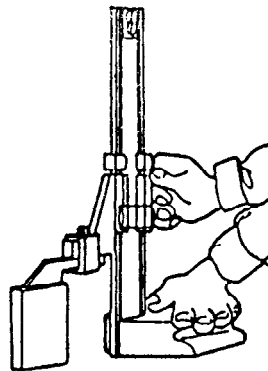
Evite errores de paralaje leyendo la escala directamente desde el frente.

- Posicione el lente de observación donde el centro del mismo (porción más gruesa), esté alineado con las líneas que coinciden y al nivel del eje del observador.



10.

Durante el ajuste fino, tenga cuidado de no permitir que la base se levante.

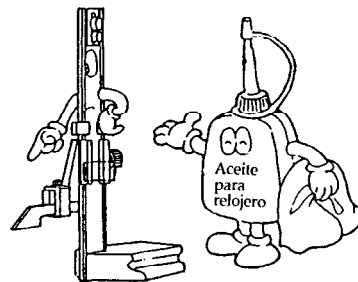


11.

Después de usarlo, limpie, con un trapo suave y seco, cualquier suciedad o huella digital que haya en el medidor de altura.

12.

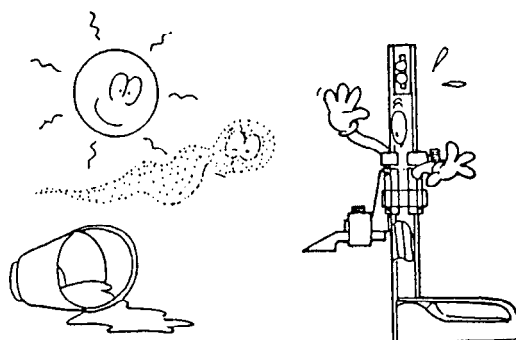
Cuando se almacene el medidor de altura por largos periodos o cuando necesite aceite, use un trapo empapado en aceite anticorrosivo y cubra cada sección, excepto las partes de carburo de tungsteno. Asegúrese de que el aceite se distribuya uniformemente sobre las superficies.



13.

Los siguientes puntos deberán tenerse en mente cuando se almacenen medidores de altura.

- No exponga el medidor de altura a la luz solar directa.
- Almacene el medidor de altura en un ambiente ventilado y de baja humedad.
- Almacene el instrumento en un ambiente libre de polvo.
- No ponga el medidor de altura en el piso.
- No apriete el tornillo de fijación del cursor.
- Almacene el medidor de altura con el trazador desmontado.
- Si el trazador debe permanecer en el medidor de altura, posiciónelo a una altura de 2-20 mm (0.8 pulg. a .8 pulg.) desde la base.



## MEDIDORES DE ALTURA CON CARÁTULA

Las principales desventajas del medidor de altura con vernier son que las lecturas requieren mucho tiempo y que involucran errores de paralaje, porque las mediciones se toman encontrando una graduación de la escala principal que esté alineada con una graduación de la escala vernier. El medidor de altura con carátula (Fig. 8.6) resuelve este problema, ya que incorpora el mecanismo de amplificación del indicador de carátula al medidor de altura con carátula, por lo tanto, las lecturas se toman sumando las lecturas de la graduación de la escala principal y la de la carátula, la cual indica la fracción de la escala principal con una aguja, lo que minimiza errores de paralaje y permite mediciones rápidas y exactas. La figura 8.7 muestra el mecanismo de amplificación del medidor de altura con carátula (una rotación de la aguja corresponde a 2 mm de desplazamiento).

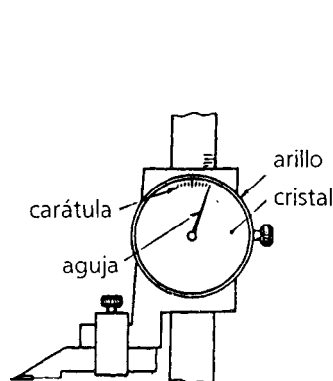


Figura 8.8.

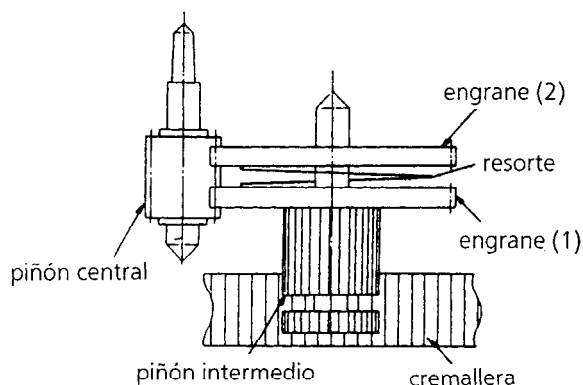


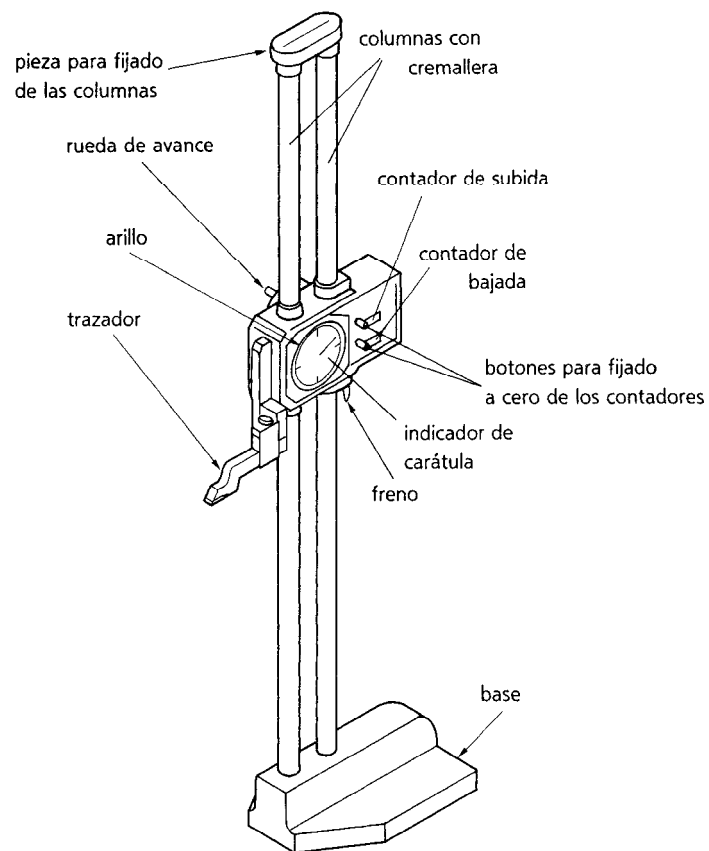
Figura 8.9.

## MEDIDOR DE ALTURA CON CARÁTULA Y CONTADOR

La figura 8.10 muestra la vista externa de un medidor de altura con indicador de carátula y contador. Conforme la rueda de avance en la parte posterior del cursor gire, el cursor se mueve hacia arriba o hacia abajo por medio de un piñón que está sujeto a la rueda de avance sobre su eje y en contacto con la cremallera de una de las columnas. Al mismo tiempo, otro engrane sobre el eje de la rueda de avance mueve el contador mediante un tren de engranes en incrementos de 1 mm o .1 pulg. El piñón del indicador está en contacto con la cremallera en la otra columna y hace girar la aguja, por medio de un mecanismo de amplificación, conforme el cursor se mueve hacia arriba o hacia abajo. Así, la carátula indica desplazamientos del cursor menores a 1 mm o .1 pulg.

La pieza para fijar las columnas afecta directamente la exactitud, por tanto no debe removerse. La rueda de avance está sujeta al eje con una tuerca. Cuando por alguna razón sea necesario quitar o poner esta tuerca se requiere sujetar la

rueda de avance, ya que de no hacerlo se puede dañar la cremallera de la columna y los engranes. El engrane del eje de la rueda de avance tiene veinte dientes y está en contacto con la cremallera de la columna, la cual tiene un paso de 1 mm. Así, una vuelta de la rueda de avance desplaza verticalmente al trazador 20 mm. El giro de este eje mueve el contador por medio de un tren de engranes.



**Figura 8.10.**

El mecanismo del indicador de carátula utilizado en el medidor de altura es el mismo que el de un indicador de carátula (ilustrado en el Cap. 10). El mecanismo de amplificación del indicador (mostrado en la Fig. 8.11) consiste del piñón P1, del engrane de amplificación G1 y del piñón central P3. El piñón P1 está en contacto con la cremallera de la columna R1; el engrane de amplificación G1 está sujeto al eje del piñón y gira junto con el piñón P1; la aguja del indicador está sujeta al piñón central P3, el cual está colocado sobre la placa base en la carátula y en contacto con el engrane de amplificación.

Con el objeto de eliminar el juego de los engranes, otro tren de engranes —idéntico al del mecanismo de amplificación— es necesario, y consiste del piñón antijuego P2, el engrane G2 y el piñón central P3. El piñón P2 está en contacto

con la cremallera de la columna principal y el engrane G2, que está fijo al eje del piñón P2 y en contacto con el piñón central P3, puede girar en cualquier dirección pero tiene tensión en una dirección mediante un resorte espiral.

Todo el mecanismo está montado al marco del cursor. La carátula está sujeta a él y cubierta por un cristal, éste está ajustado en la ranura del arillo, asegurado mediante dos resortes dentro de la ranura y puede girar con la carátula.

La tabla 8.2 muestra el número de dientes de los engranes. El desplazamiento del cursor correspondiente a una vuelta de la aguja está dado como sigue:

$$\text{MODELO MÉTRICO: } 0.5 \text{ mm} \times \frac{12 \times 20}{120} = 1.0 \text{ mm}$$

$$\text{MODELO INGLÉS: } .02 \text{ pulg} \times \frac{26 \times 20}{104} = .1 \text{ pulg}$$

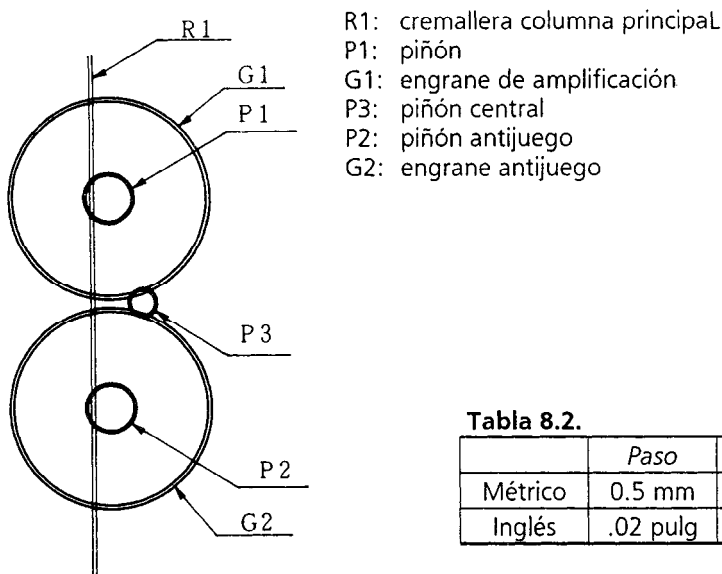


Tabla 8.2.

	Paso	P1	P2	P3
Métrico	0.5 mm	20	120	12
Inglés	.02 pulg	20	104	26

Figura 8.11.

Como se indicó antes, el contador indica lecturas de 1 mm o .1 pulg. y las fracciones las indica la carátula; debido a que hay disponibles lecturas en dos direcciones, las de las mediciones podrían ser algo confusas cuando el cursor se mueve hacia arriba o hacia abajo cerca del punto cero. Alguna práctica utilizando piezas muestra puede ayudar a familiarizarse con tales lecturas. Es necesario tener especial cuidado para evitar errores en la lectura del último dígito del contador de una unidad cuando la aguja esté cercana a la graduación "0". El último dígito se mueve continuamente cuando la aguja del indicador gira. Esto



significa que el último dígito está casi en la misma posición inmediatamente antes y después que la aguja pasa la graduación cero, aunque las lecturas del último dígito difieren por una unidad. Por ejemplo, las lecturas en las figuras 8.12 y 8.13 deberían leerse como 123.98 mm y 124.02 mm, respectivamente, aunque los valores en el contador parecen casi lo mismo.

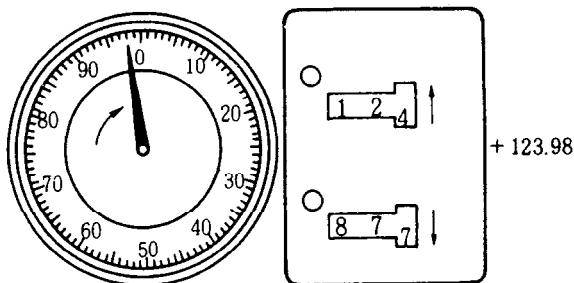


Figura 8.12.

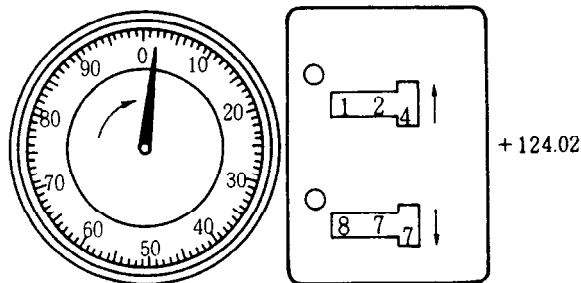


Figura 8.13.

A continuación se enumeran los cuidados que son necesarios cuando se usa un medidor de altura con carátula y contador.

1. No aplique fuerza excesiva a la rueda de avance cuando mueva el cursor hacia abajo para poner el trazador en contacto con la superficie de referencia o superficie dato, de otra manera la base se levantará y provocará mediciones inexactas. Esta operación requiere alguna experiencia. Para minimizar los errores del operador, el cursor debe moverse con la rueda de avance para acercarlo a la superficie de referencia o a la superficie de la pieza por medir, y entonces la rueda debe ser movida lentamente hasta que el trazador toque la superficie. El uso del sensor de contacto antes mencionado asegurará mediciones confiables.
2. La máxima velocidad que permite el contador es alrededor de 1000 rpm, lo que equivale a mover la rueda de avance a 500 rpm. Mover el cursor a mano puede exceder este límite de velocidad debido a la aceleración, por tanto, debe evitarse esta operación, a menos que el cursor vaya a moverse sólo una pequeña distancia.
3. El mecanismo antijuego no puede eliminar completamente el juego. Con el objeto de asegurar una gran exactitud, realice la medición moviendo el cursor en la misma dirección que lo movió para ajustarlo a cero.
4. No frene el cursor cuando transporte el medidor de altura, en este caso siempre sopórtelo de la base con una mano.

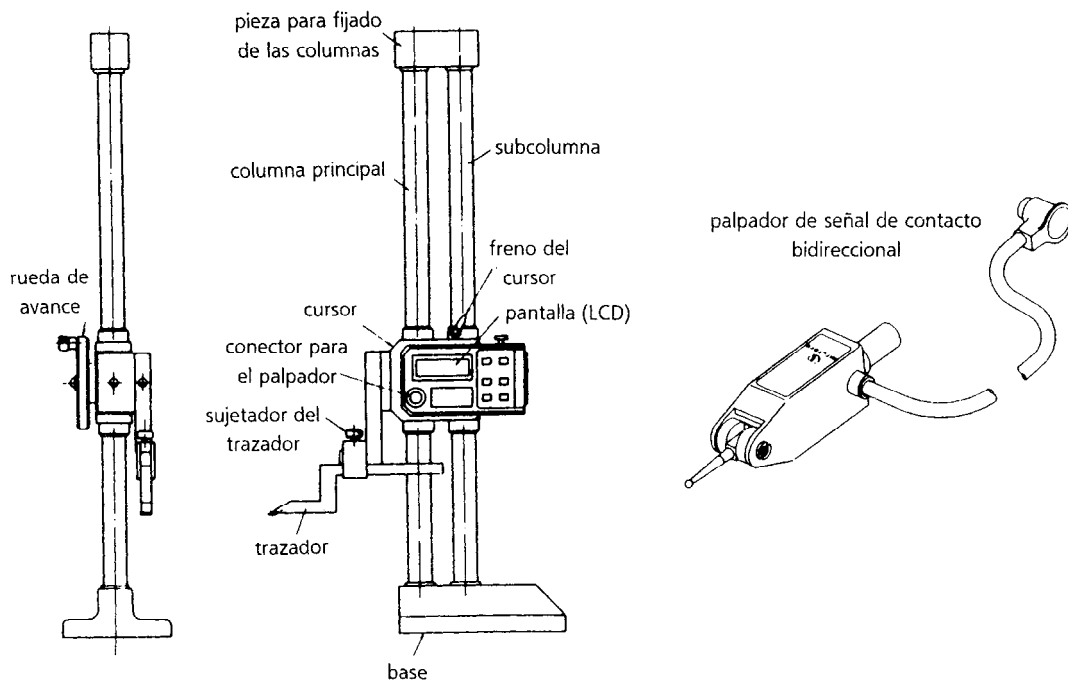
## MEDIDORES DE ALTURA ELECTRODIGITALES

Los medidores de altura electrodigitales se clasifican en dos tipos; uno de éstos utiliza un codificador rotatorio para detectar el desplazamiento y tiene doble

columna, el otro utiliza el detector de desplazamiento tipo capacitancia y cuenta con una sola columna de sección rectangular.

Algunas de las características de este tipo de medidores de altura son las siguientes:

1. Los valores medidos los muestra digitalmente en la pantalla, de modo que pueden obtenerse lecturas rápidas libres de error.
2. Pueden medir y trazar con una resolución de 0.01 mm.
3. La función del fijado del cero permite fijar al punto dato donde se desee, lo que elimina la necesidad de calcular la diferencia en altura, lo cual es particularmente conveniente en la medición de escalonamientos.
4. El funcionamiento con baterías permite operarlo libremente.
5. La función de mantener datos (HOLD) facilita cierto tipo de operaciones de medición. Por ejemplo, algunas mediciones deben tomarse en posiciones donde no es fácil leer la pantalla, y esta función puede mantener el valor en pantalla para poder leerlo después en una posición más favorable.
6. Con la función de prefijado, cualquier valor que se desee puede fijarse sobre el plano dato.
7. La rueda de avance proporciona avances basto y fino, lo que permite posicionar con facilidad el trazador y una medición eficiente.



**Figura 8.14.**

La figura 8.14 muestra la nomenclatura para los medidores de altura con codificador rotatorio.

El mecanismo de detección de desplazamiento es un codificador rotatorio que convierte el desplazamiento lineal del cursor en un movimiento rotatorio de un disco ranurado.

El número de revoluciones del disco se digitaliza para determinar el desplazamiento; en la figura 15, el piñón que está en contacto con la cremallera sobre la columna principal gira conforme el cursor se mueve hacia arriba y hacia abajo. El giro del piñón es transmitido por medio de un engrane al piñón central y gira el disco ranurado, el cual es concéntrico con el piñón central.

Cualquier juego entre la cremallera y el piñón central es eliminado mediante la tensión del resorte espiral que está entre el piñón y engrane antijuego. El disco tiene 125 ranuras dispuestas radicalmente cerca de la orilla; conforme el disco gira el dispositivo fotoeléctrico recibe luz, a través de las ranuras, que cambia periódicamente de intensidad y genera señales de salida de 125 ciclos por giro del disco, cada ciclo de señal es dividido eléctricamente en cuatro pulsos. Ya que el disco está diseñado para girar una vez por cada 5 milímetros de desplazamiento del cursor, se obtiene una resolución de 0.01 mm.

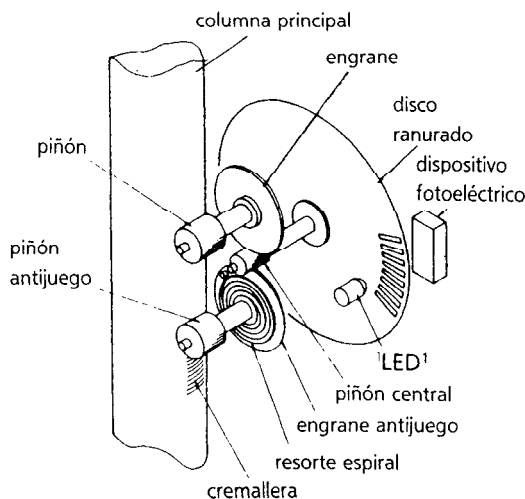


Figura 8.15.

El palpador de señal de contacto bidireccional (Fig. 8.14) está diseñado especialmente para este tipo de medidor de altura; en adición a la medición ordinaria de alturas, ofrece otras aplicaciones útiles, por ejemplo: compensa automáticamente el diámetro de la esfera del palpador, lo que permite la medición directa de anchos interiores y exteriores sin necesidad de calcular la compensación por el diámetro después de que se toma la medición. Otra característica de este palpador es que tiene una fuerza constante de medición en

<sup>1</sup> LED; Diodo Emisor de Luz.

ambas direcciones. Todas estas características mejoran considerablemente la eficiencia de las mediciones realizadas con el medidor de altura.

Los palpadores de señal de contacto ordinarios envían una señal en el momento que la punta del palpador toca la pieza. Como lo muestra la figura 8.14, cuando se realiza la medición de anchos exteriores o interiores con tales palpadores, el ancho real  $L$  es mayor o menor que el valor medio  $l$ , un valor igual al diámetro  $d$  de la esfera del palpador, y la diferencia tiene que determinarse mediante cálculo.

Una función de compensación automática elimina cualquier error que pudiera ocurrir en el cálculo manual de la compensación; los palpadores de señal de contacto bidireccional hacen esta compensación en una forma mecánica simple: el cuerpo del palpador contiene dos discos contacto y una esfera contacto; el circuito eléctrico se cierra y una señal es enviada en el momento que el contacto esférico toca uno de los discos contacto. La esfera contacto es posicionada normalmente en el centro entre los dos discos contacto (Figs. 8.17 y 8.18).

La esfera contacto y la esfera del palpador están en los extremos de un brazo de palanca, a la misma distancia desde el punto de apoyo, de modo que la relación de su desplazamiento es de uno a uno. Cuando la esfera del palpador es desplazada una distancia  $d/2$  después de tocar la pieza, la esfera contacto toca un disco contacto para generar una señal de detección. Esto tiene el mismo efecto de un palpador fijo, ya que se genera una señal cuando el centro de la esfera del palpador llega al punto de medición; palpando en la dirección opuesta trabajará en la misma forma antes descrita para determinar el punto de medición. Así, el

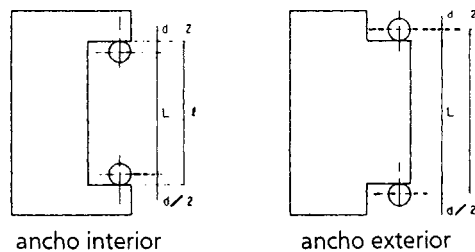


Figura 8.16.

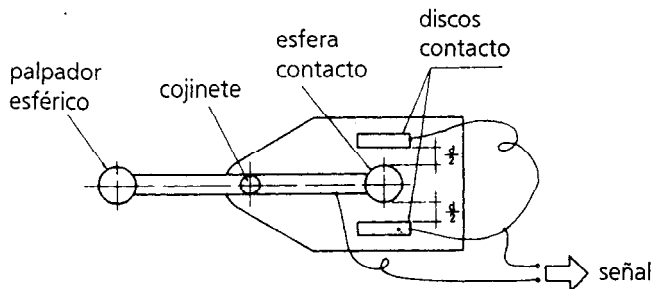


Figura 8.17.

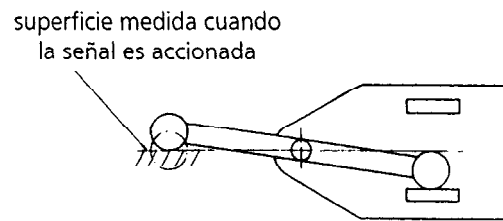


Figura 8.18.

QUELA POLI  
418

diámetro de la esfera del palpador es compensado automáticamente, sin importar si la superficie de la pieza es palpada de subida o de bajada.

Adicionalmente, el disco contacto tiene una cierta cantidad de juego para absorber el exceso de recorrido del palpador, lo cual evita que la pieza se mueva cuando la punta del palpador se desplaza excesivamente al entrar en contacto con la pieza.

La figura 8.19 muestra la nomenclatura para los medidores de altura con detector de desplazamiento tipo capacitancia, mientras que la figura 8.20 ilustra la forma de cambiar la batería.

Algunas características de este tipo de medidores de altura son las siguientes:

1. La columna tiene una construcción robusta con una gran sección rectangular.
2. El detector tipo capacitancia es muy compacto y muy durable porque es un sistema de detección sin contacto.
3. La alta velocidad de respuesta permite que el cursor se mueva rápidamente, lo que proporciona mayor eficiencia en la medición.
4. Las graduaciones sobre la columna permiten leer rápidamente una dimensión aproximada.

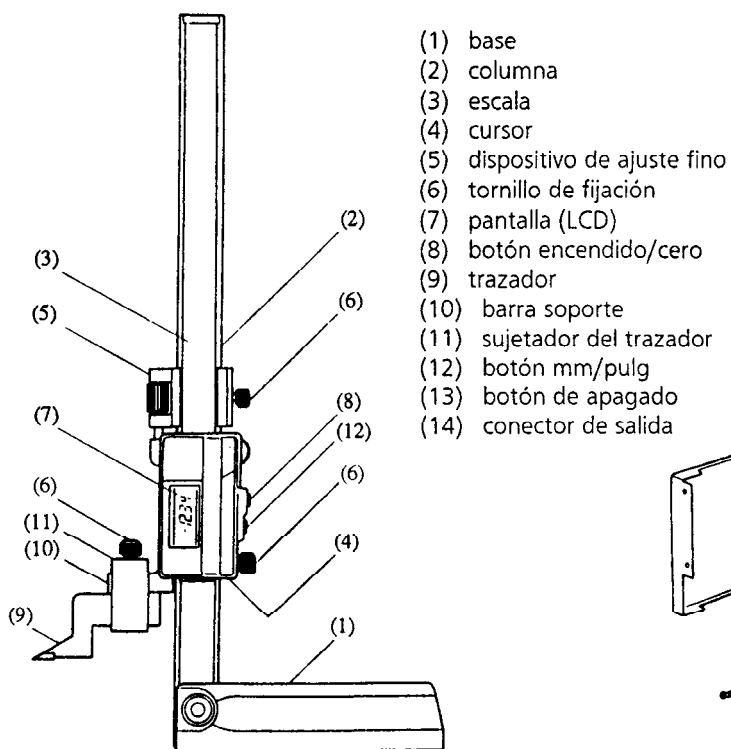


Figura 8.19.

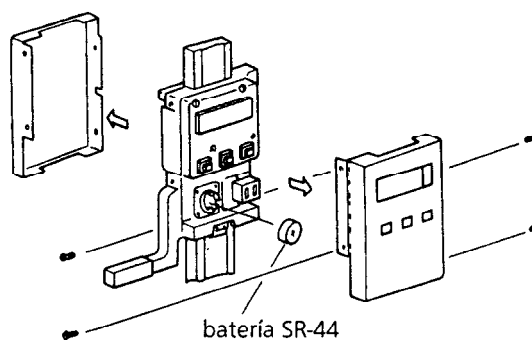


Figura 8.20.

5. Tiene un circuito de bajo consumo de energía, la cual proporciona una batería tipo botón. Adicionalmente, una función de apagado automático minimiza el gasto de energía cuando no están en uso.
6. Conectando un microprocesador o multiplexor al conector de salida de datos, pueden imprimirse las mediciones, realizarse análisis estadísticos e histogramas y generarse gráficas de control, ya sea en el microprocesador o en una computadora personal.

### **CUIDADOS REQUERIDOS AL UTILIZAR MEDIDORES DE ALTURA**

Aunque ya se mencionaron algunos de los cuidados requeridos al utilizar medidores de altura, se resumen a continuación algunos de ellos.

Como con otro tipo de instrumentos de medición, la verificación del punto cero es esencial al utilizar medidores de altura, ya sea del tipo vernier, carátula o electrodigital, especialmente si el punto cero puede moverse.

Para verificar el punto cero, primero baje el cursor hasta que la cara de medición del trazador toque suavemente la superficie de referencia, entonces fije el cursor en esa posición con el tornillo de fijación. Cuando haya contacto, no presione con fuerza excesiva el trazador sobre la superficie de referencia. Si el trazador se presiona con mucha fuerza contra la superficie de referencia, la base del medidor de altura puede levantarse, lo cual no permitirá un ajuste adecuado del cero. Verifique que la presión adecuada se aplique deslizando el cursor hacia arriba y después bajándolo sobre la superficie de referencia; repita esta operación un par de veces, si ocurre un choque tal vez sea porque la cara de medición esté más baja que la superficie de referencia de la base. Si esto sucede levante el trazador y luego bájelo nuevamente hacia la superficie de referencia. Con el objeto de evitar este problema, sujete el dispositivo de ajuste fino y utilice la tuerca de ajuste fino para poner la superficie de medición del trazador en contacto con la de referencia, así como en la medición de altura.

En los medidores de altura con vernier, y con el trazador tocando la superficie de referencia, utilice la lente de aumento para verificar que las líneas de cero de las escalas principal y vernier coincidan, si no es así ajuste la escala principal con la tuerca de ajuste que está en la parte superior de la columna. En los medidores de altura con carátula gire el arillo hasta que la aguja esté alineada con la graduación cero sobre la carátula.

Diferentes procedimientos para verificar el punto cero o fijarlo son utilizados en los medidores de altura electrodigitales, lo que depende de si un palpador de señal de contacto bidireccional es utilizado o no. Cuando no se utiliza el palpador de señal de contacto, simplemente presione el botón para fijado del cero (esto equivale al fijado del cero mediante el ajuste del arillo en los medidores de altura o con carátula). Cuando se utiliza el palpador de señal de contacto el fijado de cero se completa presionando el botón del cero y llevando el palpador al contacto con la superficie dato.

Como sucedería con cualquier instrumento de medición, los golpes disminuyen la exactitud de la medición. En particular, cuando se utilice un indicador

de carátula tipo palanca con un medidor de altura, el punto cero puede modificarse por golpes o excesos de recorrido de la palanca. Hay que tener cuidado para no lastimarse con la punta del trazador, ya que ésta es muy aguda.

Al medidor de altura por lo general se le desliza sobre la superficie de referencia para realizar mediciones. Limpie dicha superficie porque el polvo,

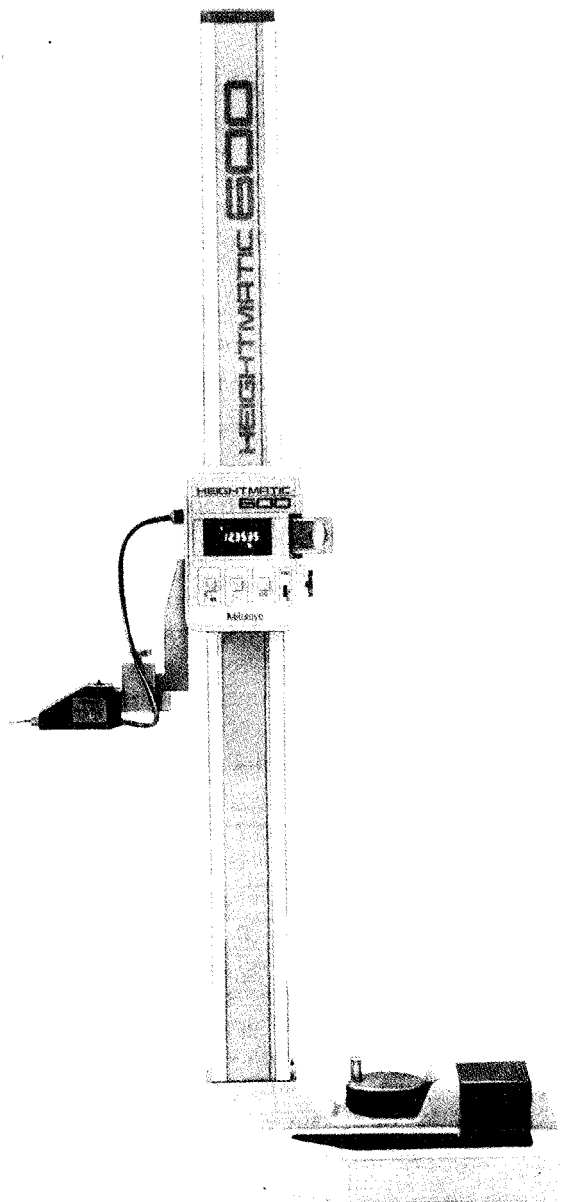


Figura 8.21.



Figura 8.22.

aceite o sudor pueden causar que el medidor se atasque sobre ella, lo que afectaría la exactitud y la eficiencia de la medición. Utilice guantes cuando haga mediciones, ya que el sudor afecta mucho la suavidad del deslizamiento.

La figura 8.21 muestra un medidor de altura electrodigital que incorpora un sistema de medición basado en una escala lineal de gran exactitud. Tiene una resolución de 0.001 mm, exactitud de  $\pm 0.004$  mm para el rango de 450 mm, perpendicularidad de  $\pm 0.008$  mm, rectitud de 0.004 mm y repetibilidad de 0.001 mm; cuenta, además, con palpador de señal de contacto y compensación automática del diámetro de la esfera del palpador.

La figura 8.22 muestra una máquina de medición de altura que incorpora un codificador lineal tipo reflectivo, cuya resolución es de 0.5  $\mu\text{m}$ , y una compresora de aire muy pequeña que le permite moverse suavemente sobre una superficie de referencia por medio de cojinetes de aire. El movimiento vertical del cursor puede controlarse manual o eléctricamente. También está equipada con un mecanismo que le permite al palpador seguir una superficie curva con una fuerza constante (100 gf) y puede medir los puntos más altos y más bajos en una pieza, así como en un agujero o perno en las caras verticales de la pieza. Además de hacer las mediciones normales de altura con el procesador de datos integrado, puede realizar varias funciones complejas —medición en dos dimensiones, una función de enseñanza, juicio pasa no pasa, etcétera— y cuenta con una salida RS-232C para establecer comunicación con computadoras para el análisis estadístico de datos.





# Micrómetros

## INTRODUCCIÓN

Uno de los instrumentos que se utiliza con mayor frecuencia en la industria metalmeccánica es el micrómetro. El concepto de medir un objeto utilizando una rosca de tornillo se remonta a la era de James Watt, cuyo micrómetro, inventado en 1772, daba lecturas de  $1/100$  de pulg en la primera carátula y  $1/256$  de pulg en la segunda (Fig. 9.1). Durante el siglo pasado se logró que el micrómetro diera lecturas de  $.001$  pulg y se completó su diseño básico. El principio del micrómetro incorporado en estos modelos iniciales está aún intacto, y es utilizado en varios tipos de micrómetros modernos.

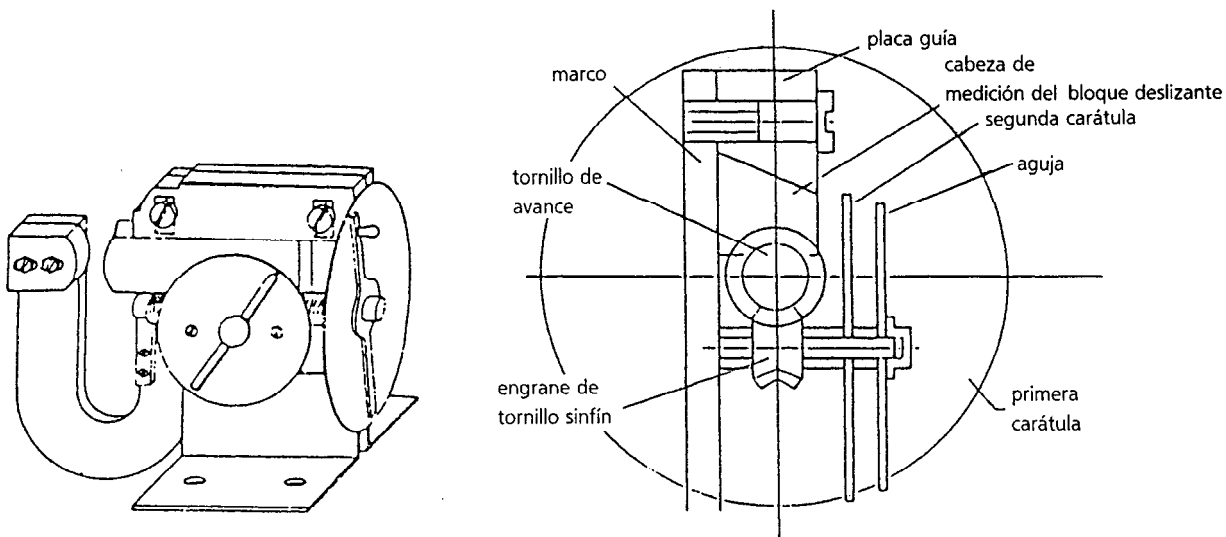


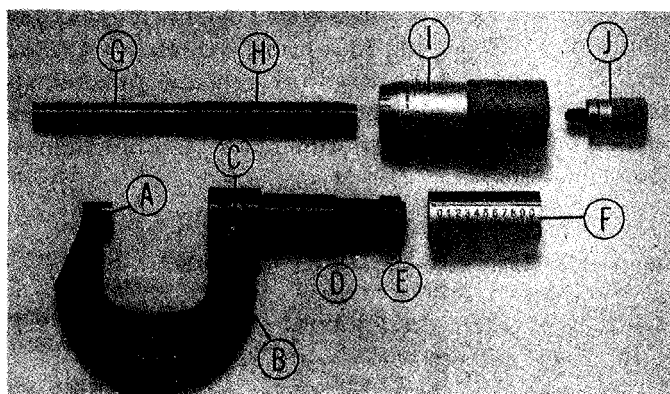
Figura 9.1.

Avances de la tecnología de manufactura mejoraron el diseño y la aplicación del micrómetro, así como el mecanismo de lectura. Desde cerca de 1950 los husillos de los micrómetros se rectifican después de endurecerlos, reemplazando así los iniciales métodos de torneado. Al mismo tiempo, empezó a utilizarse el carburo para los topes de medición. Con el rápido desarrollo en circuitos integrados y pantallas de cristal líquido en los años 70 entraron al mercado los micrómetros digitales y electrónicos. Actualmente los topes de carburo se están

sustituyendo por los de cerámica, y los micrómetros que utilizan un haz de luz láser ya dificultan establecer una definición genérica de lo que es un micrómetro.

### PRINCIPIO DEL MICRÓMETRO

El micrómetro es un dispositivo que mide el desplazamiento del husillo cuando éste es movido mediante el giro de un tornillo, lo que convierte el movimiento giratorio del tambor en el movimiento lineal del husillo. El desplazamiento de éste lo amplifica la rotación del tornillo y el diámetro del tambor. Las graduaciones alrededor de la circunferencia del tambor permiten leer un cambio pequeño en la posición del husillo (Fig. 9.2).



- A. Tope de medición
- B. Arco
- C. Freno del husillo
- D. Tuerca
- E. Arillo de ajuste
- F. Cilindro
- G. Husillo con tope
- H. Tornillo
- I. Tambor
- J. Trinquete

Figura 9.2.

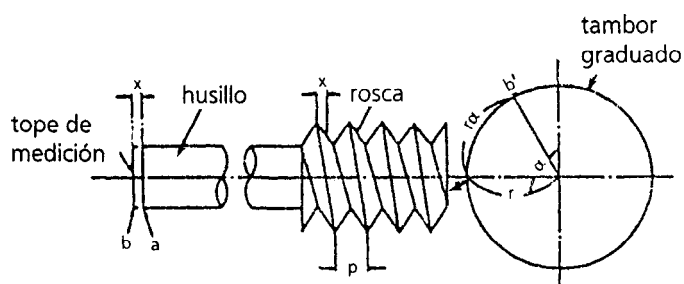


Figura 9.3.

En la figura 9.3 suponga que el husillo es desplazado una distancia  $X$  desde los puntos  $a$  hasta los  $b$  cuando el tornillo gira un ángulo  $\alpha$ . Denominando  $r$  al radio del tambor, cualquier punto sobre la circunferencia se moverá la distancia dada por  $r \cdot \alpha$  [radio  $\times$  ángulo (en radianes) de giro]. Cuando el husillo es desplazado una distancia que es igual al paso de los hilos del tornillo,  $p$ , las graduaciones sobre el tambor marcan una vuelta completa. Estas relaciones pueden expresarse mediante las siguientes fórmulas.

$$\frac{\text{Desplazamiento lineal del husillo}}{\text{Desplazamiento angular de la superficie graduada}} = \frac{p}{2\pi r} = \frac{x}{r\alpha}$$

Por lo tanto

$$x = \frac{p\alpha}{2\pi} \quad (1)$$

Donde:

$x$  = desplazamiento del husillo (mm)  
 $p$  = paso de los hilos del tornillo (mm)  
 $\alpha$  = ángulo de giro del tornillo (radianes)  
 $r$  = radio del tambor (mm)

Los micrómetros estándar tienen un tornillo con paso de 0.5 mm y su tambor está graduado en 50 divisiones alrededor de su circunferencia.

Sustituyendo  $p = 0.5$  y  $\alpha/2\pi = 1/50$  en la fórmula (1) obtenemos el valor de una graduación del tambor como sigue:

$$\text{Legibilidad} = 0.5 \times \frac{1}{50} = 0.01 \text{ mm}$$

Los micrómetros de pulgadas tienen un tornillo de 40 hilos por pulgada y paso de .025 pulg (Fig. 9.4).

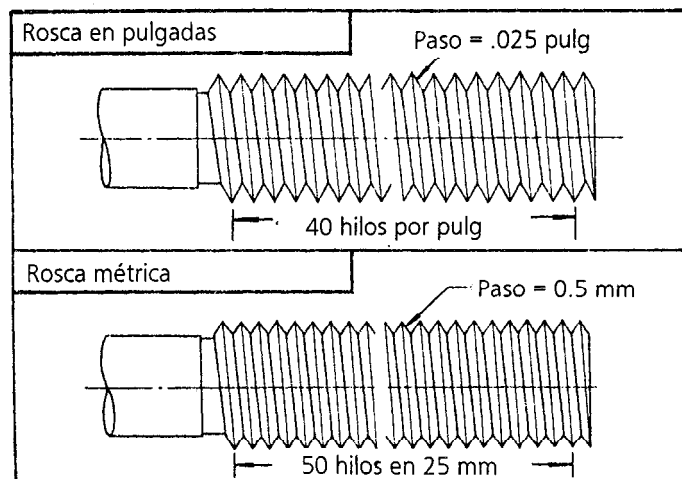


Figura 9.4.

Es imperativo que antes de utilizar un micrómetro se verifique que éste indique cero cuando esté cerrado adecuadamente.

A continuación se proporciona un ejemplo de cómo ajustar el cero utilizando un micrómetro de exteriores con rango de 0 a 25 mm.

1. Limpie las caras de medición del husillo y del tope fijo con un pedazo de gamuza o tela limpia, libre de hilachas.
2. Aplique una fuerza de medición entre las caras de medición del husillo y del tope fijo dando vuelta al trinquete, y asegúrese de que la línea cero del tambor coincida con la línea de referencia en el punto cero. Si las líneas no coinciden, entonces ajuste el cero de la siguiente manera:

A. Cuando el error está entre  $\pm 0.01$  mm (Fig.9.5).

1. Fije el husillo.
2. Coloque la llave de ajuste en el agujero localizado detrás del cilindro y gire éste de acuerdo con la desviación observada hasta que la línea de referencia del cilindro coincida con la línea cero del tambor.



Figura 9.5.

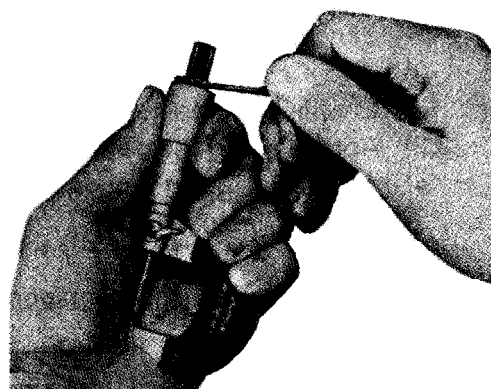


Figura 9.6.

B. Cuando el error es mayor que  $\pm 0.01$  mm (Fig.9.6).

1. Fije el husillo.
2. Afloje el trinquete con la llave de ajuste.
3. Jale el tambor hacia el trinquete para inducir una pequeña tensión entre tambor y husillo (que los separe).
4. Haga coincidir la línea cero del tambor con la línea de referencia del cilindro.
5. Apriete completamente el trinquete con la llave de ajuste.
6. Una desviación más pequeña puede corregirse mediante el procedimiento descrito en el inciso A.

## LECTURA DEL MICRÓMETRO

Para el micrómetro estándar en milímetros nos referiremos a las figuras 9.7 y 9.8.

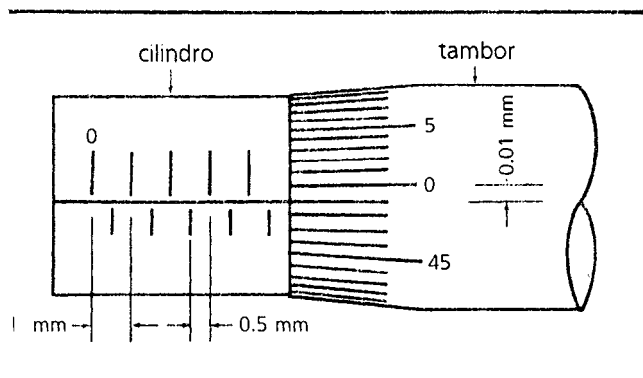


Figura 9.7.

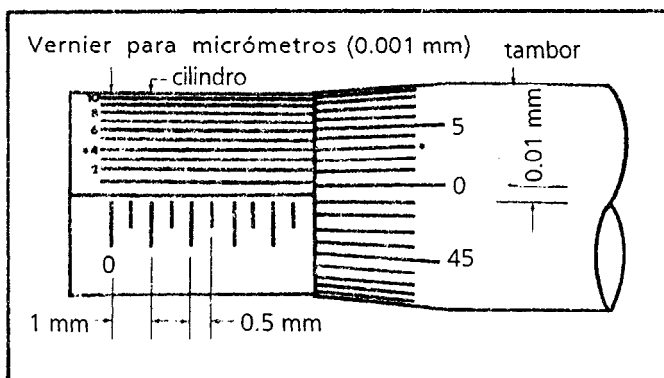


Figura 9.8.

Para lecturas en centésimas de milímetro primero tome la lectura del cilindro (obsérvese que cada graduación corresponde a 0.5 mm) y luego la del tambor, sume las dos para obtener la lectura total.

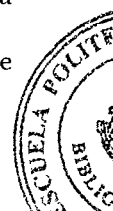
Para el ejemplo mostrado en la figura 9.7:

1. Note que el tambor se ha detenido en un punto más allá de la línea correspondiente a 4 mm.
2. Note también que una línea adicional (graduación de 0.5 mm) es visible entre la línea correspondiente a 4 mm y el borde del tambor.
3. La línea 49 sobre el tambor corresponde con la línea central del cilindro así:

a) Lectura sobre el cilindro	4.0
b) Lectura entre el 4 y el borde del tambor	0.5
c) Línea del tambor coincidiendo con la del cilindro	<u>0.49</u>
Lectura total	4.99 mm

Para lecturas en micrómetros ( $\mu\text{m}$ )

1. Tome la lectura hasta centésimas de milímetro en la misma forma que en el ejemplo anterior. Cuando la línea central del cilindro queda entre dos líneas del tambor, la cantidad desconocida se lee utilizando la escala vernier marcada sobre el cilindro.
2. El vernier sobre el cilindro proporciona lecturas con incrementos de 0.001 mm ( $1\mu\text{m}$ ).
3. Para leer el vernier, encuentre cuál línea sobre la escala de éste coincide con la línea sobre el tambor y tome la lectura del número indicado a la izquierda de la escala vernier, nunca tome el número del tambor.
4. Note en la figura 9.8 que la línea con el número 4 del vernier coincide exactamente con una del tambor e indica 0.004 mm.



a) Lectura sobre el cilindro	4.0
b) Línea entre el 4 y el borde del tambor	0.5
c) Línea del tambor que ha pasado la línea del cilindro	0.49
d) Línea vernier coincidiendo con una del tambor	<u>0.004</u>
Lectura total	4.994 mm

Para el micrómetro en pulgadas nos referiremos a las figuras 9.9 y 9.10.

Para lecturas en milésimas de pulgada primero tome la lectura del cilindro (observe que cada graduación corresponde a .025 de pulg) y luego la del tambor, sume las dos para obtener la lectura total.

Para el ejemplo mostrado en la figura 9.9.

1. Note que el tambor se ha detenido en un punto más allá del 2 sobre el cilindro y que indica .200 de pulg.

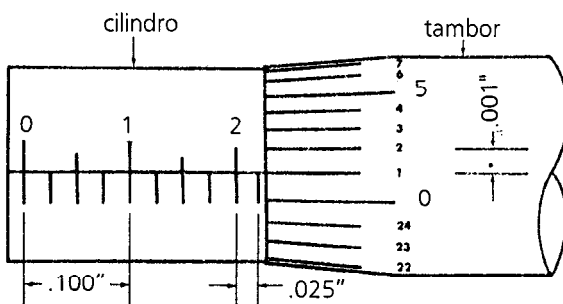


Figura 9.9.

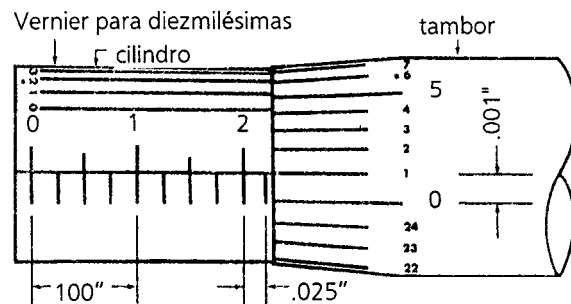


Figura 9.10.

2. Note que una línea adicional es visible entre la graduación con el 2 y el borde del tambor y que indican .025 de pulg.
3. La línea numerada 1 sobre el tambor coincide con la línea central del husillo, lo que significa .001 de pulg adicional. Así:

a) Lectura sobre el cilindro	.200
b) Línea entre el 2 y el borde del tambor	.025
c) Línea del tambor coincidiendo a la línea central del cilindro	<u>.001</u>
Lectura total	.226 pulg

Para lecturas en diezmilésimas de pulgada.

1. Tome la lectura hasta milésimas de pulgada en la misma forma que en el ejemplo anterior. Cuando la línea central del cilindro queda entre dos líneas

del tambor, la cantidad desconocida se lee utilizando la escala vernier marcada sobre el cilindro.

2. El vernier sobre el cilindro proporciona lecturas con incrementos de .0001 de pulg.
3. Para leer el vernier, encuentre cuál línea sobre la escala de éste coincide con una línea sobre el tambor y tome la lectura del número indicado a la izquierda de la escala vernier; nunca tome el número del tambor.
4. Note, en la figura 9.10, que la línea con el número 2 del vernier coincide exactamente con una del tambor y que indica .0002 pulg. Así:

a) Lectura sobre el cilindro	.200
b) Línea entre el 2 y el borde del tambor	.025
c) El tambor ha pasado la línea .001 sobre el cilindro	.001
d) Línea vernier coincidiendo exactamente con la línea del tambor	<u>.0002</u>
Lectura total	.2262 pulg

Aun cuando no se cuente con la escala vernier sobre el cilindro, conviene estimar la lectura del tercer dígito decimal, en el caso de milímetros, o el cuarto dígito decimal, en el caso de pulgadas, imaginando la distancia entre dos líneas consecutivas del tambor dividida en diez partes (véase Fig. 9.11).

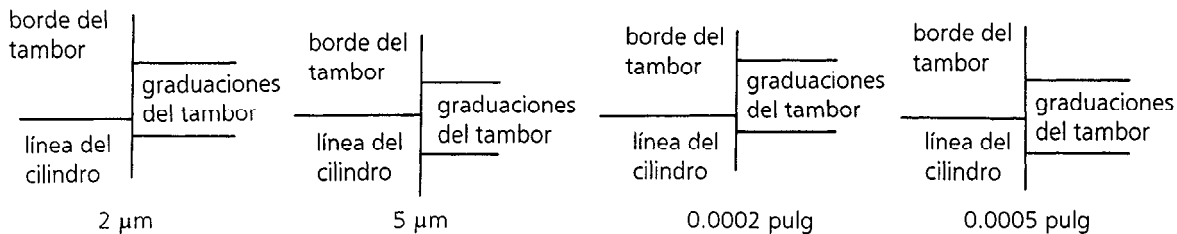


Figura 9.11.

## PARTES DEL MICRÓMETRO ESTÁNDAR DE EXTERIORES

El micrómetro estándar de exteriores consiste de arco, husillo, topes, cilindros exterior e interior, tambor, trinquete y freno. Enseguida se describen estas partes del micrómetro.

### Arco

Una gran variedad de diseños, tamaños y materiales están disponibles para los arcos de un micrómetro estándar de exteriores. Los materiales para los arcos incluyen hierro fundido, hierro forjado, fundición de aleación ligera, acero, etcétera. Los arcos generalmente están contruidos de metal sólido, pero los micrómetros grandes pueden tener arcos tubulares. Algunos micrómetros están-



dar de exteriores tienen una cubierta de aislante térmico para protegerlos del calor generado por las manos del operador. La superficie de muchos arcos es cromoplateada o pintada. Desde un punto de vista funcional, los arcos de los micrómetros deben satisfacer los siguientes requerimientos:

- Estabilidad a largo plazo
- Alta rigidez
- Livianos (especialmente para micrómetros de gran tamaño)

La alta rigidez es requerida con el objeto de minimizar errores de medición causados por la deformación del arco originada por la posición de soporte y la fuerza de medición del micrómetro.

El factor peso concierne a la operabilidad. Si un micrómetro es demasiado pesado, la exactitud de la medición resultará afectada; los datos de la medición pueden diferir en varias posiciones de medición y también puede influir el peso del micrómetro mismo.

### *Topes de medición*

El diámetro de los topes de medición es típicamente 6.35 mm en micrómetros de hasta 300 mm de tamaño, y de 8 mm en los mayores. El carburo es el material que con mayor frecuencia se utiliza para fabricar los topes de medición, mientras que el acero de herramienta endurecido es utilizado en los topes de medición sin superficies planas. La superficie de los topes de medición es acabada con una tolerancia muy pequeña, pues la rugosidad y los errores de forma de las superficies de medición afectan significativamente la exactitud de ésta.

### *Ajuste de las partes roscadas*

El ajuste de las partes roscadas en un micrómetro es uno de los factores más importantes para determinar la exactitud de la medición. Los requerimientos básicos para el ajuste adecuado son los siguientes:

- Exactitud y uniformidad en el paso de la rosca.
- Concentricidad entre las partes roscadas y las no roscadas.
- Juego apropiado en roscas en las direcciones radial y axial para asegurar un movimiento suave.
- Resistencia al desgaste.

La suavidad del movimiento del husillo es predeterminada en la fábrica. Sin embargo, puede reajustarse apretando o aflojando el arillo de ajuste E; un giro en sentido horario del arillo lo forzará sobre la superficie cónica de la tuerca fija D, la cual a su vez sujetará la parte roscada del husillo H con mayor presión (véase Fig. 9.12).

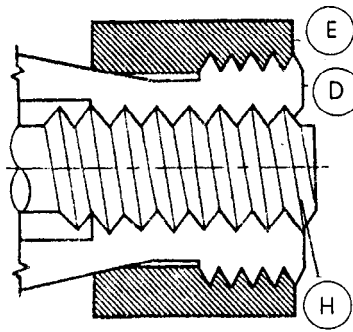


Figura 9.12.

Con el objeto de asegurar un ajuste apropiado de las roscas sobre el recorrido total, el diámetro de paso de la rosca interna debe ser ajustable. También la condición de ajuste no deberá perderse aunque las roscas estén desgastadas después de un largo periodo de uso.

Los siguientes métodos se utilizan para ajustar roscas internas.

- La rosca hembra tiene tres ranuras, uniformemente espaciadas alrededor de la circunferencia, que se extiende hasta la mitad de la tuerca cónica, la cual es utilizada para ajustar el diámetro de paso de la porción ranurada.
- Otra construcción similar a *a)*, pero con las ranuras localizadas en la porción central. El diámetro de paso de la rosca interna es menor en el centro que en los extremos.
- La rosca interna está dividida en dos secciones; una es fija y la otra es forzada mediante un resorte y puede moverse en dirección axial. Esta construcción mantiene las partes roscadas interna y externa en contacto sobre el flanco.
- En lugar de utilizar ranuras, la pared de la tuerca es delgada. Otra tuerca cónica es utilizada para ajustar el diámetro de paso.
- Es otra construcción similar a *b)*, sólo que la tuerca es apretada en un extremo sin utilizar una tuerca cónica.

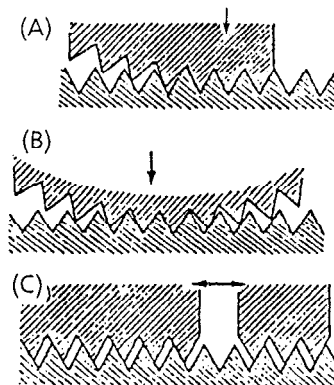


Figura 9.13.

La figura 9.13 ilustra la condición de ensamble de las partes roscadas en una escala ampliada. (A) muestra *a*) y *d*) descritos antes, (B) los casos *b*) y *e*); (C) muestra el caso *c*).

En (A) y (B) de la figura 9.13 una porción de la rosca interna se aprieta con el fin de ajustar el juego entre los hilos del roscado. Por lo tanto, sólo parte de la rosca interna hace contacto con sus contrapartes y las superficies en contacto varían de hilo en hilo.

En (C) los flancos de los hilos de la rosca hacen contacto uniforme sobre toda la longitud, lo que minimiza el error de avance que pudiera surgir del error de paso de la rosca. El ajuste de las partes roscadas en los micrómetros lo hace el fabricante de modo que los hilos hagan un contacto uniforme. El reajuste es necesario siempre que el ajuste se pierda, y antes que el desgaste de la rosca se haga demasiado grande.

### *Sujeción del tambor*

Existen también diversos métodos para sujetar el tambor. El más común es fijarlo al husillo utilizando un asiento cónico y mediante el tornillo de fijación del trinquete.

### *Sujeción del cilindro*

El cilindro se ajusta sobre el cilindro interior y puede girarse para ajustar el punto cero mediante un agujero y una llave de nariz.

### *Dispositivo de fuerza constante*

Con objeto de minimizar la variación de las lecturas, la medición debe realizarse con la misma fuerza que fue tan utilizada para fijar el punto cero. Para facilitar esto, un dispositivo de fuerza constante denominado trinquete se utiliza en muchos micrómetros.

El mecanismo que con mayor frecuencia se utiliza, cuenta con dos trinquetes opuestos uno contra otro y sus caras dentadas se mantienen juntas mediante la fuerza de un resorte. Los dientes de los trinquetes tienen forma de cuña. Un flanco tiene una pendiente ligera, el otro una aguda. Cuando la perilla externa del trinquete se gira en sentido horario, ambos trinquetes giran juntos hasta que la fuerza de medición rebasa cierto límite. Cuando la fuerza de medición excede ese límite, los trinquetes dentro de la perilla giran y se deslizan inútilmente emitiendo un sonido. Girar la perilla en sentido antihorario impide que haya

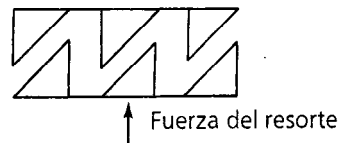


Figura 9.14.

deslizamiento entre los trinquetes, ya que los dientes de los mismos se bloquean sobre los flancos agudos (véase Fig. 9.14).

Otro tipo de dispositivo de fuerza constante es el denominado tambor de fricción, el cual utiliza un resorte de tensión (Fig. 9.15).

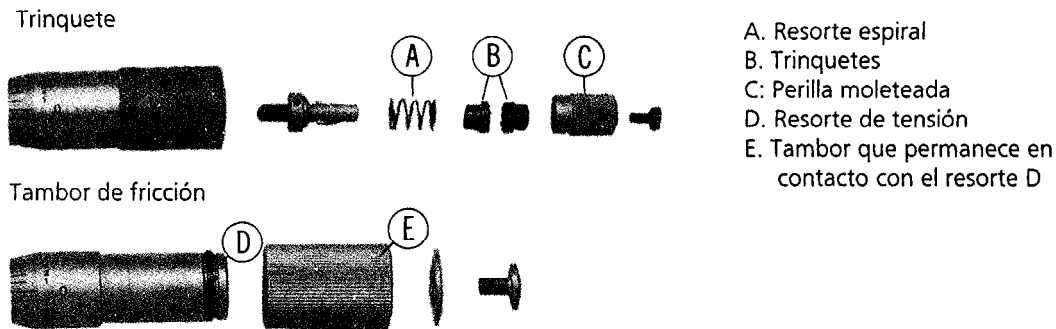


Figura 9.15.

La tabla 1 muestra las fuerzas necesarias para ambos mecanismos; que dependen también del rango de medición.

Tabla 9.1

Fuerza de medición en gramos		
Rango	Trinquete	Fricción
0-100 mm	400-600 g	800-1000 g
100-300 mm	500-700 g	800-1000 g
300-1000 mm	700-1000 g	—

Cuando la pieza está fija, por ejemplo montada con mordazas en un torno, el micrómetro puede sujetarse por el arco con una mano y girar con la otra el trinquete hasta que éste suene y después tomar la lectura. Si la pieza por medir no está fija se dificulta tomarla con una mano y con la otra sujetar el micrómetro y accionar el trinquete, razón por la cual es recomendable sujetar el micrómetro

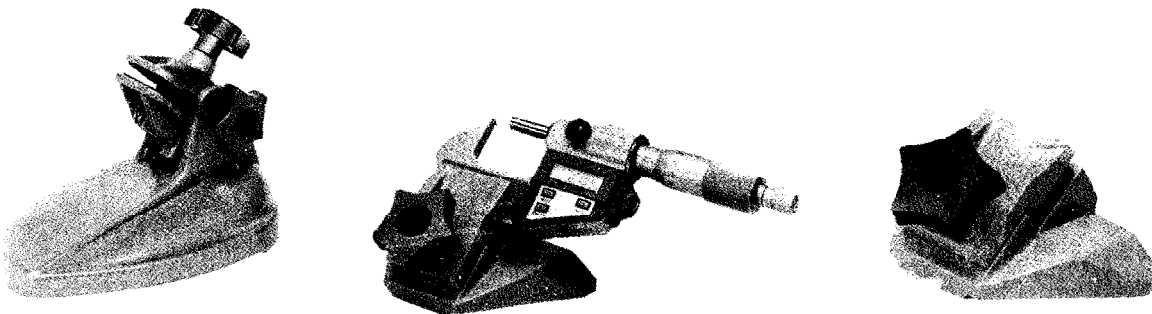


Figura 9.16.

en una base (Fig. 9.16) y tomar la pieza con una mano y girar con la otra el trinquete o, en su defecto, utilizar un micrómetro con tambor de fricción.

### ***Freno***

El freno inmoviliza el husillo contra el cilindro interior, y es utilizado para ajustar el punto cero, como se describió antes, o cuando la lectura no puede tomarse con la pieza mantenida entre los topes de medición. En este último caso accione el freno y, con cuidado, retire el micrómetro de la pieza, luego tome la lectura.

Los frenos pueden clasificarse en dos tipos: el tipo palanca y el tipo anillo. En el primero el husillo es inmovilizado directamente mediante un tornillo o indirectamente por medio de una leva. En el segundo tipo el husillo se inmoviliza mediante un anillo roscado.

## **MICRÓMETROS PARA APLICACIÓN ESPECIAL**

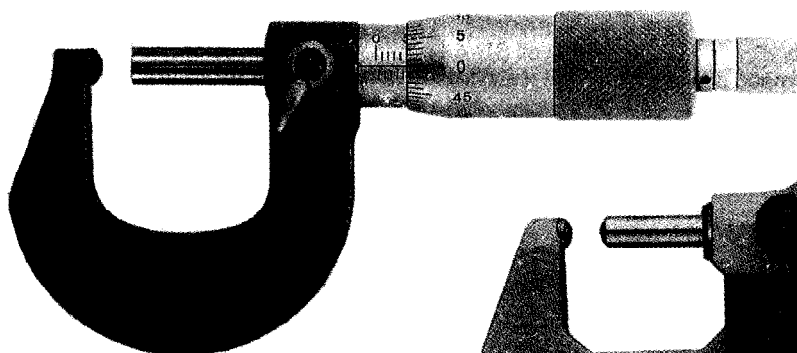
### ***Micrómetros para tubo***

Este tipo de micrómetro está diseñado para medir el espesor de pared de partes tubulares, tales como cilindros y collares. Los siguientes tipos están disponibles.

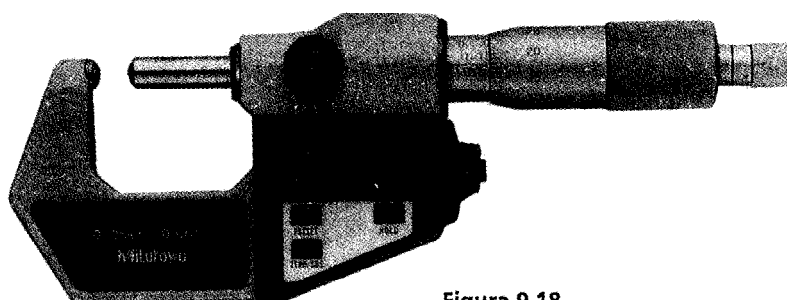
1. Tope fijo esférico
2. Tope fijo y del husillo esféricos
3. Tope fijo tipo cilíndrico

### ***Tipo tope fijo esférico***

La figura 9.17 muestra un micrómetro con tope fijo esférico. La superficie esférica permite medir el espesor de la pared de tubos y otras partes con paredes



**Figura 9.17.**



**Figura 9.18.**

cilíndricas. Las mediciones se toman poniendo en contacto la superficie esférica con la superficie interna de un tubo y el tope del husillo con la superficie externa.

#### *Tipo con ambos topes esféricos*

Ambos topes de medición son esféricos, como lo muestra la figura 9.18. Este tipo es útil para medir el espesor de pared de tubos de forma especial con una superficie exterior no circular, lo que un husillo con tope plano no podría medir con exactitud.

#### *Tipo tope cilíndrico*

Este tipo de micrómetro es utilizado para medir el espesor de pared de tubos con pequeño diámetro interior, la forma del tope del husillo puede ser plana o esférica., Requiere cuidado especial durante la medición porque el tope largo y delgado está sujeto a flexión o deformación cuando se aplica una fuerza de medición excesiva. Para evitar este problema la fuerza de medición en el trinquete es menor que la del micrómetro estándar de exteriores (Fig. 9.19).

#### *Micrómetro para ranuras*

En este micrómetro ambos topes tienen un pequeño diámetro con el objeto de medir pernos ranurados, cuñeros, ranuras, etcétera, que los micrómetros estándar de exteriores no podrían medir. El tamaño estándar de la porción de medición es 3 mm de diámetro y 10 mm de longitud. Las especificaciones son básicamente las mismas que las de los micrómetros estándar de exteriores (Fig. 9.20).

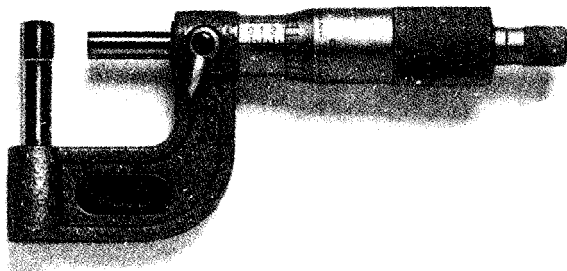


Figura 9.19.

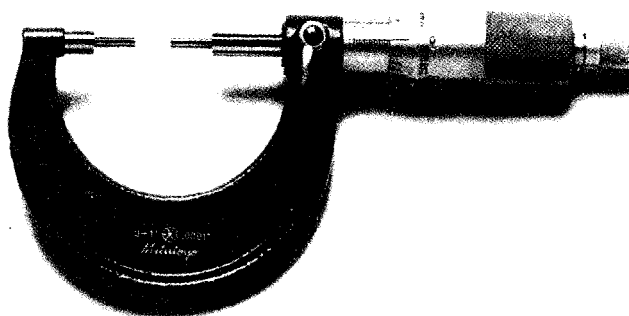


Figura 9.20.

#### *Micrómetro de puntas*

Como puede verse en la figura 9.21 estos micrómetros tienen ambos topes en forma de punta. Se utiliza para medir el espesor del alma de brocas, el diámetro de raíz de roscas externas, ranuras pequeñas y otras porciones difíciles de alcanzar. El ángulo de las puntas puede ser 15, 30, 45 o 60° (Fig. 9.22). Las puntas de medición normalmente tienen un radio de curvatura de 0.3 mm, ya que ambas

puntas pueden no tocarse; un bloque patrón se utiliza para ajustar el punto cero. Con el objeto de proteger las puntas, la fuerza de medición en el trinquete es menor que la del micrómetro estándar de exteriores.

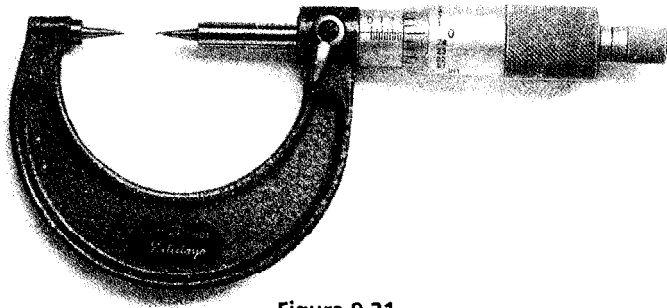


Figura 9.21.

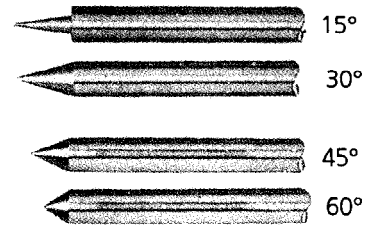


Figura 9.22.

### *Micrómetros para ceja de latas*

Este micrómetro está especialmente diseñado para medir los anchos y alturas de cejas de latas, como lo muestra la figura 9.23.

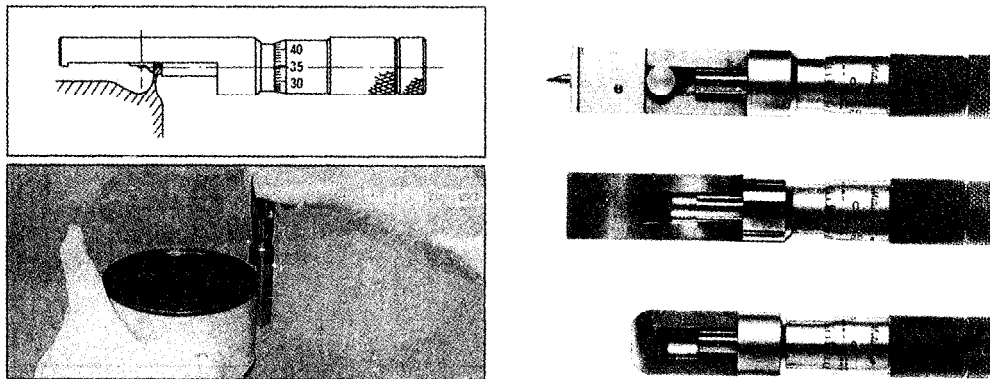


Figura 9.23.

### *Micrómetros indicativos*

Este micrómetro cuenta con un indicador de carátula (Fig. 9.24). El tope del arco puede moverse una pequeña distancia en dirección axial y su desplazamiento lo muestra el indicador. Este mecanismo permite aplicar una fuerza de medición uniforme a las piezas. La experiencia del usuario minimiza las variaciones en la fuerza de medición.

La norma JIS B-7520 define el micrómetro indicativo como sigue: "Micrómetros que constan de una parte de micrómetro y una parte de indicador y tienen una longitud máxima de medición de 100 mm o menos. En los que la parte de

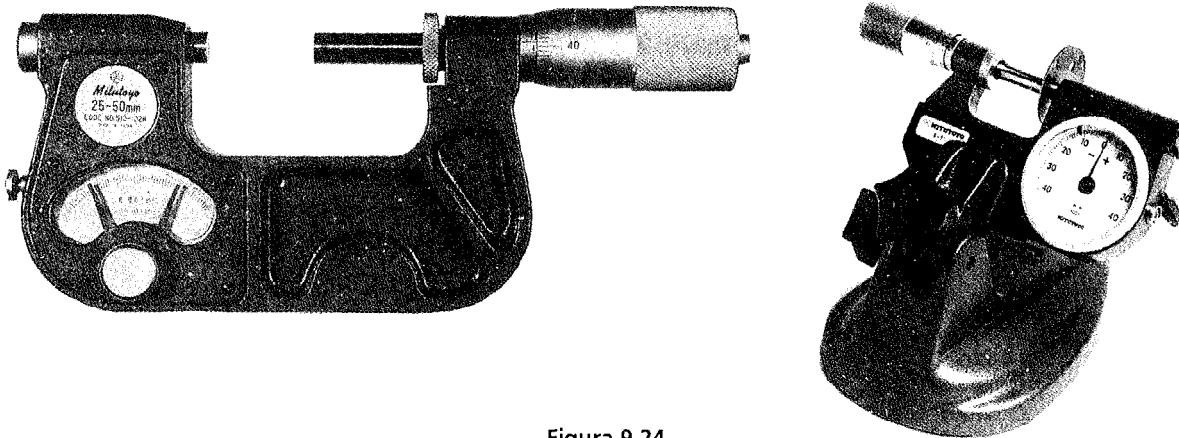
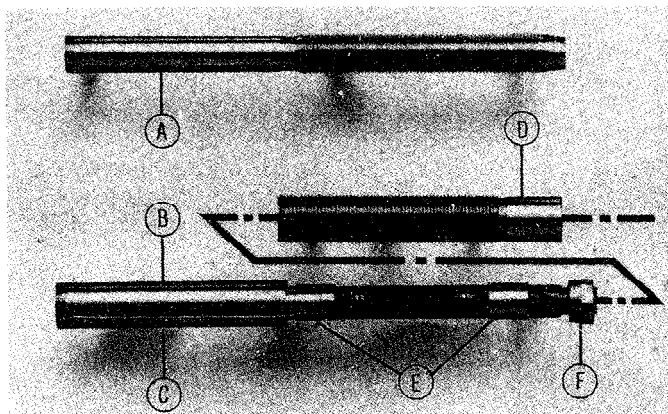


Figura 9.24.

micrómetro proporciona lecturas de 0.01 mm y tiene un rango de medición de 25 mm, y la parte del indicador proporciona lecturas de 0.002 mm y tiene un rango indicativo de  $\pm 0.02$  mm".

#### *Micrómetro de exteriores con husillo no giratorio*

En los micrómetros normales el husillo gira con el tambor cuando éste se desplaza en dirección axial. A su vez, en este micrómetro el husillo no gira cuando es desplazado. La figura 9.25 muestra un detalle de su construcción. Debido a que el husillo no giratorio no produce torsión radial sobre las caras de medición, el desgaste de las mismas se reduce notablemente. Este micrómetro es adecuado para medir superficies con recubrimiento, piezas frágiles y características de partes que requieren una posición angular específica de la cara de medición del husillo.



- A. Husillo estándar
- B. Husillo no rotante
- C. Ranura guía
- D. Parte roscada con movimiento libre
- E. Guías para D
- F. Tuercas de ajuste

Figura 9.25.





Los husillos no giratorios se utilizan sobre todo en los siguientes cuatro tipos de micrómetro.

#### *Micrómetro con doble tambor*

Una de las características del tipo no giratorio con doble tambor (Fig. 9.26), es que la superficie graduada del tambor está al ras con la superficie del cilindro en que están grabadas la línea índice y la escala vernier, lo cual permite lecturas libres de error de paralaje.

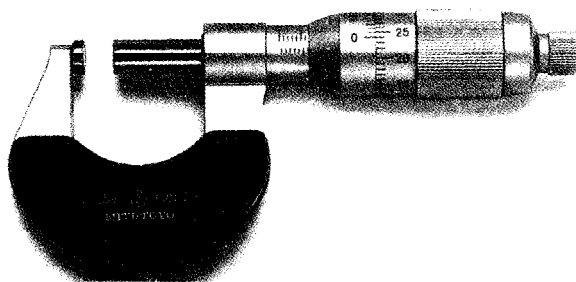


Figura 9.26.

#### *Micrómetro tipo discos para espesor de papel*

Este tipo es similar al micrómetro tipo discos para medición de espesor de dientes de engrane, pero utiliza un husillo no giratorio con el objeto de eliminar torsión sobre las superficies de la pieza, lo que lo hace adecuado para medir papel y piezas delgadas. Los discos proporcionan superficies grandes de medición con el fin de evitar que la fuerza de medición se concentre (Fig. 9.27).

#### *Micrómetro de cuchillas*

Como se muestra en la figura 9.28, en este tipo los topes son cuchillas, por lo que ranuras angostas, cuñeros y otras porciones difíciles de alcanzar pueden medirse.

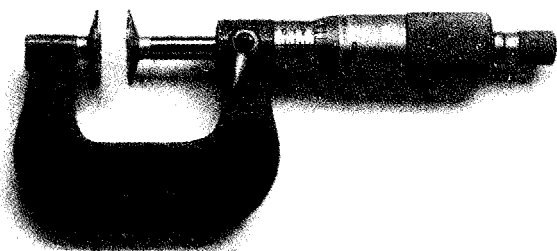


Figura 9.27

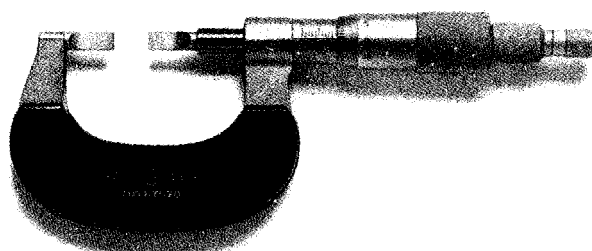


Figura 9.28.

### *Micrómetro para ranuras interiores*

Como puede verse en la figura 9.29, este micrómetro es útil para medir anchos y posiciones de ranuras internas (por ejemplo, ranuras para O-rings (Sellos o Empaques) en un equipo hidráulico).

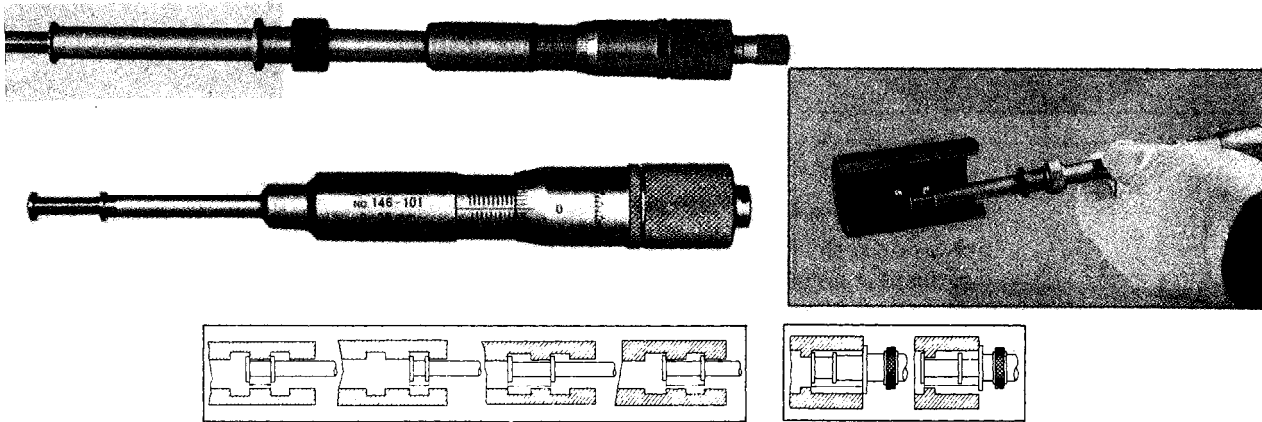


Figura 9.29.

### *Micrómetro con topes del arco en V*

El micrómetro con topes del arco en V es útil para medir el diámetro de herramientas de corte (machuelos, rimas, fresas, etc.) que cuenten con un número impar de puntas de corte que un micrómetro normal de exteriores no podría medir. Los diámetros medidos pueden leerse directamente del micrómetro u obtenerse de una tabla de conversión. También es posible medir el diámetro de paso de machuelos mediante el método de un alambre.

Están disponibles tres tipos diferentes:

- Tres puntas de corte
- Cinco puntas de corte
- Siete puntas de corte

Cada uno de estos tipos puede medir piezas que tengan un número múltiple de puntas de corte.

### *Micrómetro con topes de arco en V para tres puntas de corte*

Como puede apreciarse en la figura 9.30, este micrómetro tiene un ángulo de  $60^\circ$  en la V de los topes, por lo demás su construcción es igual a la del micrómetro normal de exteriores.

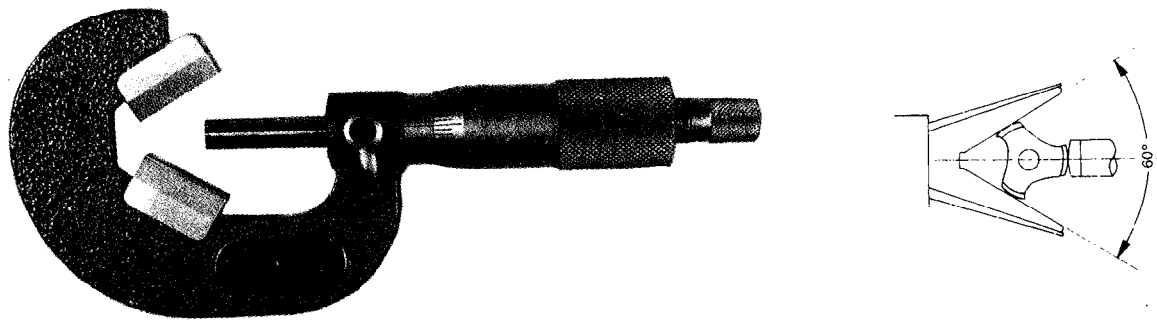


Figura 9.30.

La figura 9.31 ilustra el principio de medición del micrómetro para tres puntas de corte. La relación entre un incremento  $(D-d)$  del diámetro de la pieza y el desplazamiento correspondiente  $A$  del husillo, es como sigue:

$$A = 1.5 \times (D-d)$$

Por lo tanto, el paso de la rosca del husillo es 1.5 veces mayor (esto es,  $0.5 \text{ mm} \times 1.5 = 0.75 \text{ mm}$ ) que el del micrómetro normal de exteriores. El tambor está graduado en 50 divisiones y proporciona una legibilidad de 0.01 mm.

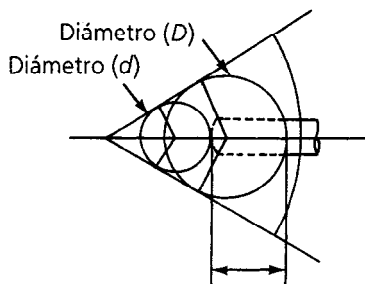


Figura 9.31.

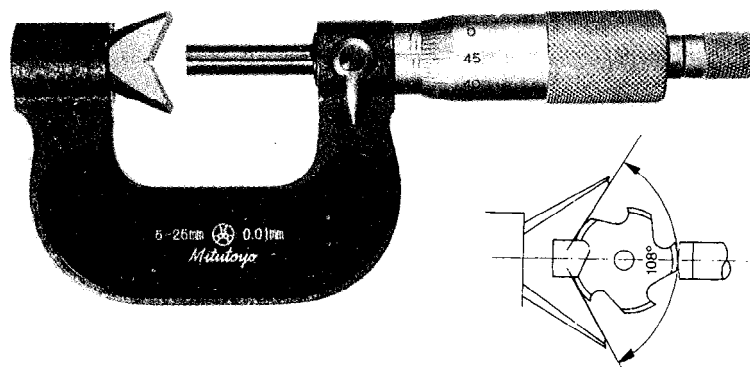


Figura 9.32.

#### *Micrómetro con topes del arco en V para cinco puntas de corte*

Como lo muestra la figura 9.32, este tipo de micrómetro tiene un ángulo de  $108^\circ$  en la V. Muchos micrómetros de este tipo tienen un paso de rosca del husillo de 0.5 mm y los diámetros medidos se obtienen utilizando una tabla de conversión o mediante cálculos basados en las lecturas del micrómetro.

El principio de medición es el mismo que el del micrómetro para tres puntas de corte, y la relación entre el incremento  $(D-d)$  del diámetro de la

pieza y el correspondiente desplazamiento  $A$  del husillo es dado por la siguiente fórmula.

$$A = 1.11803 (D-d)$$

Con el objeto de permitir lecturas directas de diámetros de piezas con micrómetros para cinco puntas de corte, se cuenta con micrómetros que tienen un paso de rosca del husillo de 0.559015 mm ( $0.5 \text{ mm} \times 1.118031$ ).

*Medición del diámetro de paso de machuelos con un micrómetro con topes del arco en V*

El diámetro de paso de las puntas de corte de un machuelo que tenga un número impar de puntas de corte no puede medirse por el método de los tres alambres utilizando un micrómetro normal de exteriores. Por esta razón se usa el método de un solo alambre utilizando un micrómetro con topes del arco en V.

Determine el diámetro de paso  $E$  como sigue:

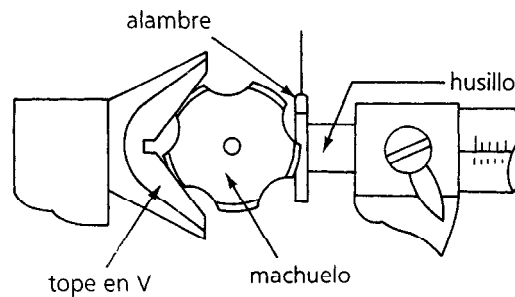


Figura 9.33.

1. Mida el machuelo con el método de un alambre usando un micrómetro con topes del arco en V y tome la lectura  $M'$ ; utilice una tabla de conversión, calcule o lea directamente, según el micrómetro con que se cuente.
2. Sustituya los valores obtenidos en el paso 1 para  $M'$  y  $D$  en cualquiera de las siguientes fórmulas para obtener el valor  $M$ .  
Para tres puntas de corte  $M = 3M' - 2D$   
Para cinco puntas de corte  $M = 2.2360 M' - 1.23606D$
3. Sustituya el valor obtenido en el paso 2 para  $M$  en cualquiera de las siguientes fórmulas para obtener el diámetro de paso  $E$ :

Para  $\alpha = 60^\circ$

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

Para  $\alpha = 55^\circ$

$$E = M - 3.16567 d + .096049 p$$

Donde

$\alpha$  = ángulo de la rosca del machuelo

$p$  = paso de la rosca del machuelo

$d$  = diámetro del alambre

Nótese que estas últimas fórmulas son las mismas que en el método de los tres alambres para la medición de roscas.

### *Micrómetros para espesor de láminas*

Este tipo de micrómetros tiene un arco alargado capaz de medir espesores de láminas en porciones alejadas del borde de éstas. La profundidad del arco va de 100 a 600 mm, otras de sus partes son iguales al micrómetro normal (Fig. 9.34). Hay un micrómetro de este otro tipo que está provisto de una carátula para facilitar la lectura (Fig. 9.35).

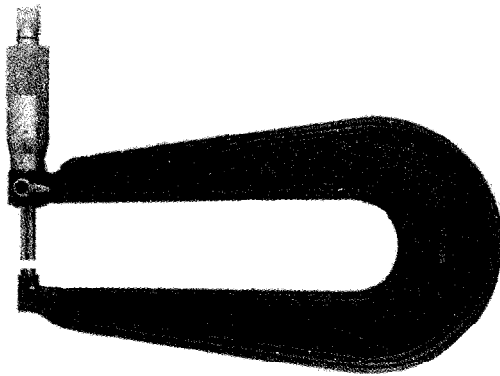


Figura 9.34.

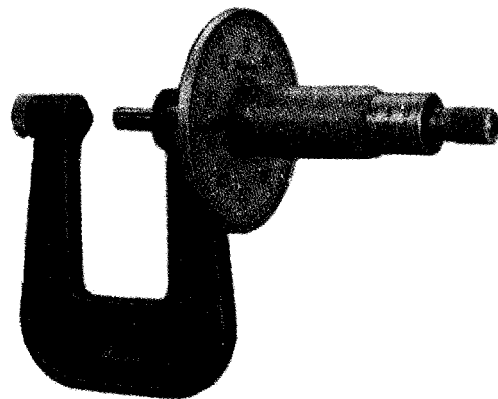


Figura 9.35.

### *Micrómetro para dientes de engrane*

El engrane es uno de los elementos más importantes de una máquina, por lo que su medición con frecuencia es requerida para asegurar las características deseadas de una máquina. Para que los engranes ensamblados funcionen correctamente, sus dientes deben engranar adecuadamente entre ellos sin cambiar su distancia entre los dos centros de rotación. Al mismo tiempo, la velocidad periférica a lo largo de los círculos de paso debe ser constante. Con el objeto de satisfacer este requerimiento, diversos elementos de los engranes deben inspeccionarse, requiriéndose, en muchos casos, la utilización de máquinas para hacerlo; sin embargo, en ciertas aplicaciones pueden utilizarse micrómetros para la medición de ciertas características de los dientes de los engranes.

El diámetro del círculo de *adendum* (*exterior*) puede medirse con un micrómetro estándar de exteriores. Los micrómetros para dientes de engrane se utilizan principalmente para la medición de la longitud de la tangente de raíz, el espesor del diente y el diámetro sobre esferas. Hay diferentes tipos de micrómetro para dientes de engrane que se clasifican de acuerdo con sus aplicaciones como sigue:

Para medición de espesor de diente

Tipo disco

(Fig. 9.36)

Tipo calibrador

(Fig. 9.37)

Tipo deslizable

(Fig. 9.38)

Para medición sobre esferas con puntas de bola

(Fig. 9.39).

### *Micrómetros para dimensiones mayores a 25 mm*

Para medir dimensiones exteriores mayores a 25 mm (1 pulg) se tienen dos opciones. La primera consiste en utilizar una serie de micrómetros, como la que muestra la figura 9.40, para mediciones de 25 a 50 mm (1 a 2 pulg), 50 a 75 mm (2 a 3 pulg), etcétera. La segunda consiste en utilizar un micrómetro con un rango de medición de 25 mm y arco grande con tope de medición intercambiable (Fig. 9.41).

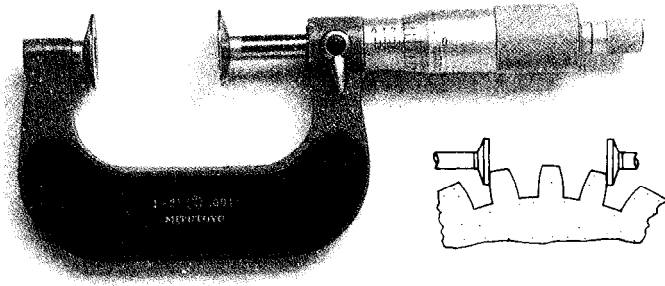


Figura 9.36.

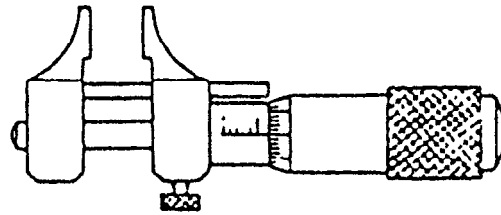


Figura 9.37.

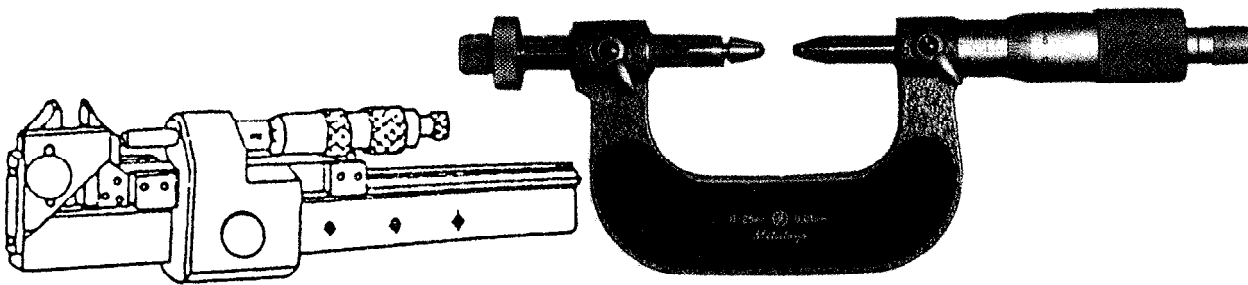


Figura 9.38.

Figura 9.39.

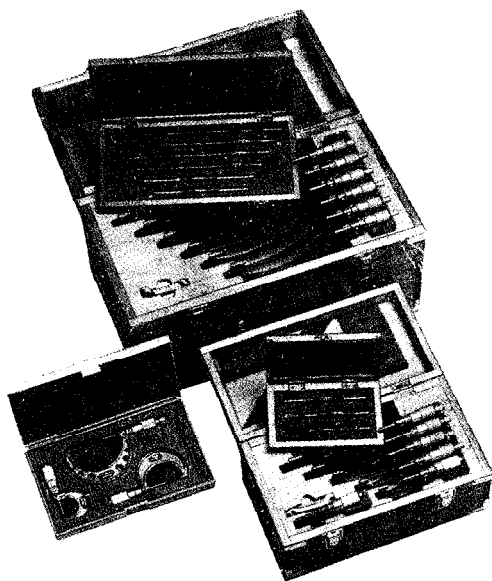


Figura 9.40.

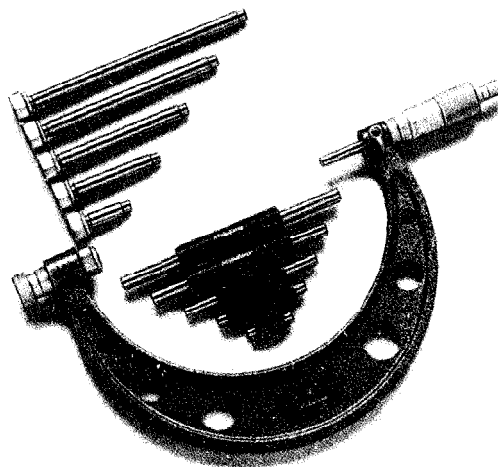


Figura 9.41.

En ambos casos se requieren barras de referencia para ajustar el cero, dado que los dos topes de medición no pueden entrar en contacto directo.

El ajuste a cero puede realizarse como se indicó antes para los micrómetros de 0 a 25 mm, sólo que en este caso deberán insertarse, entre los dos topes de medición, una barra de referencia del tamaño nominal adecuado, y tomar en cuenta la desviación de la medida nominal indicada en el material aislante térmico cerca de ésta (Fig. 9.42).

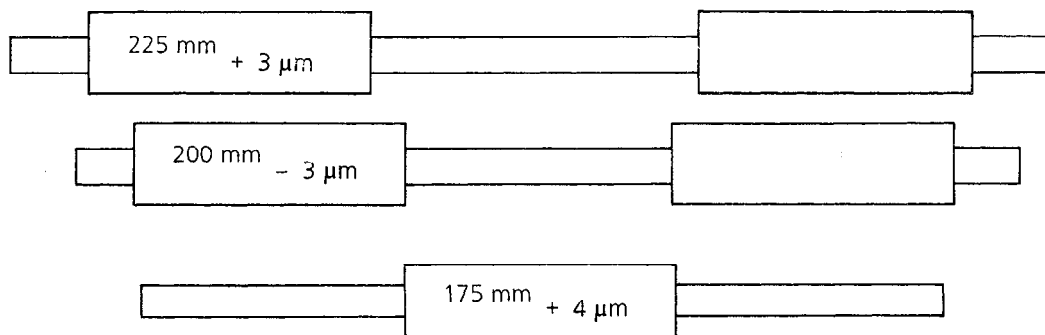


Figura 9.42.

Así, por ejemplo, para ajustar el cero de un micrómetro de 225 a 250 mm con la barra ilustrada en la figura 9.42, después de insertarla y aplicar la fuerza de

medición constante con el trinquete o tambor de fricción, la lectura que se deberá tener en el micrómetro es 225.003 mm; adicionalmente, para micrómetros con capacidad de medición por arriba de 300 mm el ajuste a cero deberá realizarse colocando el micrómetro en la misma posición en la que se realizará la medición.

Existen también soportes adecuados para micrómetros de tamaño grande (Fig. 9.43).

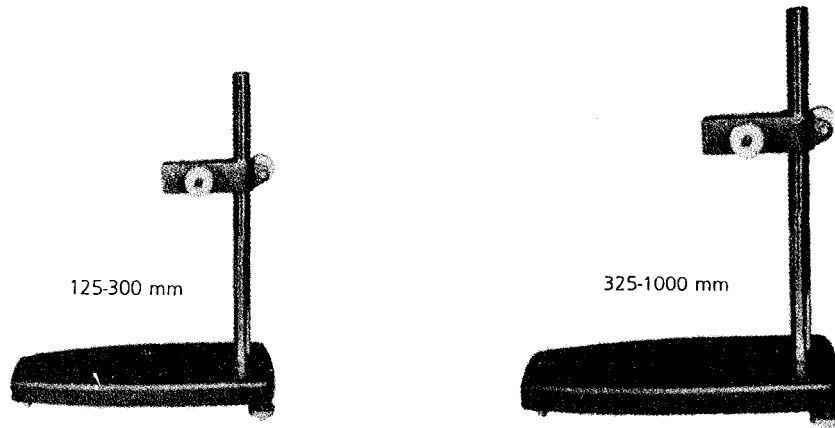


Figura 9.43.

### **CABEZAS MICROMÉTRICAS**

La cabeza micrométrica consiste de un husillo, cilindro y tambor; algunas cabezas micrométricas están provistas con un dispositivo de fuerza constante, tal como un trinquete. Rara vez se usan solas, generalmente se instalan sobre otro equipo o se utilizan como un dispositivo de avance controlado (Fig. 9.44). Una gran variedad de cabezas micrométricas, con rangos de medición de 6.5 a 50 mm, están disponibles; la figura 9.45 muestra varios tipos.

### **MICRÓMETROS DE INTERIORES**

Al igual que los micrómetros de exteriores, los de interiores están diversificados en muchos tipos para aplicaciones específicas, y pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- Tubular
- Calibrador
- Tres puntos de contacto



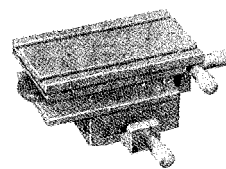
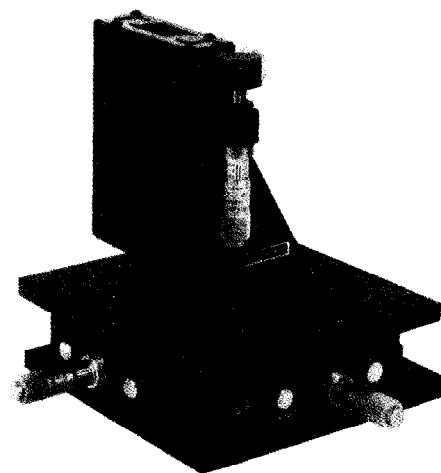
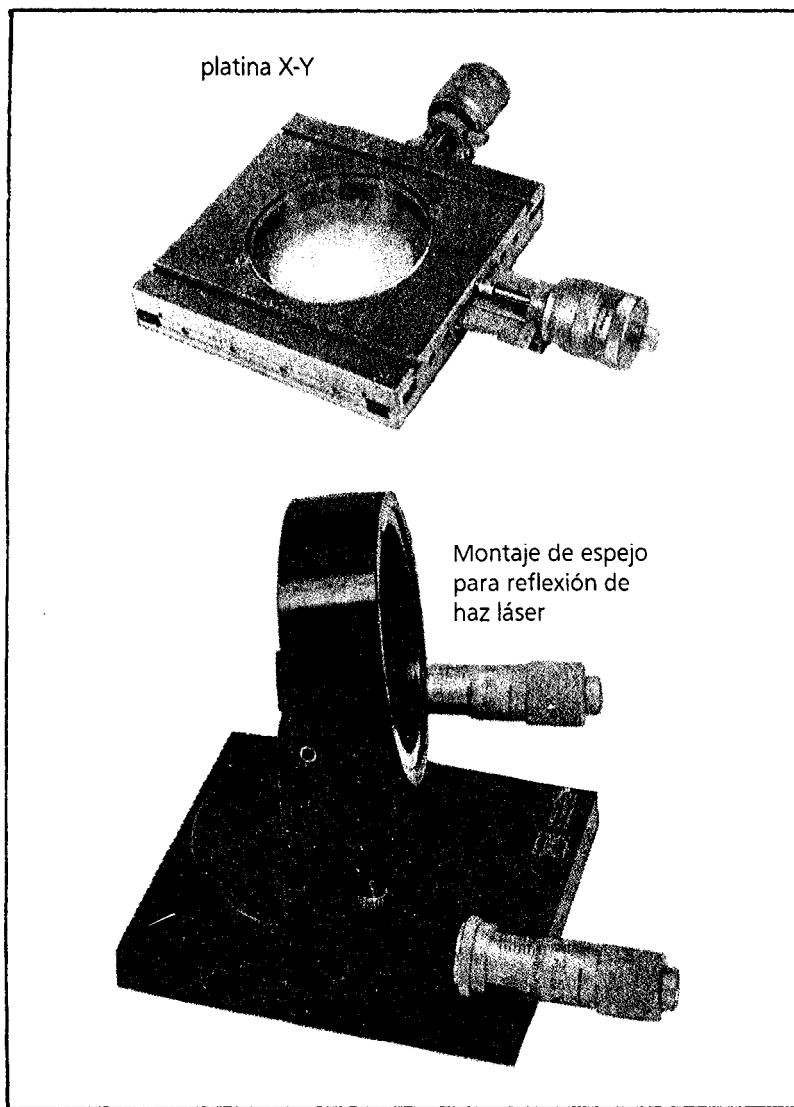


Figura 9.44.

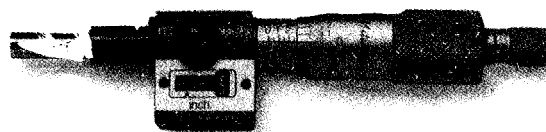
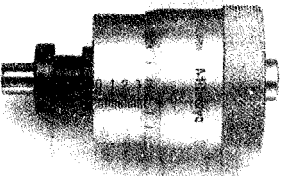
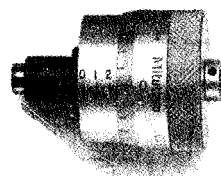
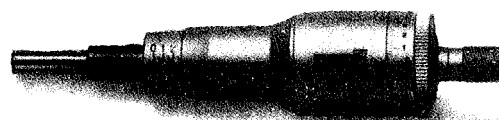


Figura 9.45.

### Micrómetros de interiores tipo tubular

Los micrómetros de interiores tipo tubular están disponibles en varios tipos:

- 1) Barra simple
- 2) Extensión
- 3) Varilla intercambiable
- 4) Punta intercambiable
- 5) Medición de engranes internos

### Micrómetro de interiores tipo barra simple

El tipo de barra simple es el más utilizado de los micrómetros de interiores. Está disponible en muchos tamaños, con longitudes máximas de medición desde 50 hasta 100 mm, en incremento de 25 mm. El recorrido del husillo es de 25 mm (Fig. 9.46), la figura 9.47 muestra la construcción de este tipo de micrómetro.

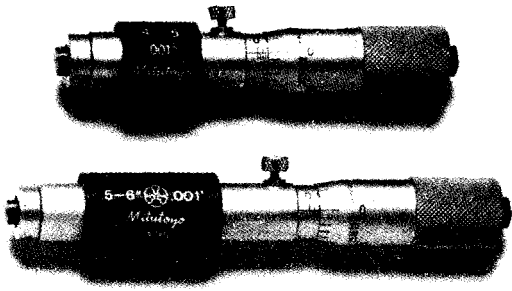


Figura 9.46.

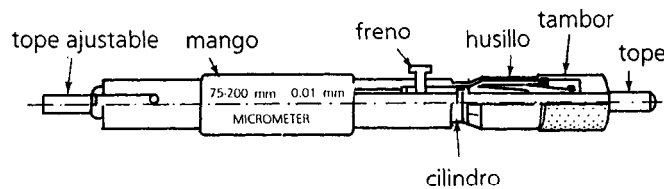


Figura 9.47

### MÉTODO DE MEDICIÓN

Para medir con exactitud diámetros de interiores es necesario contar con cierta experiencia. Esto se debe a la dificultad que implica posicionar el micrómetro adecuadamente dentro del agujero para medir el diámetro. Si el micrómetro queda inclinado en dirección axial o diametral, ocurrirá un error en la medición. Adicionalmente, muchos micrómetros tubulares no cuentan con dispositivo de fuerza de medición constante, tal como un trinquete, lo que dificulta aún más lograr mediciones exactas.

El posicionamiento exacto del calibrador es la clave para obtener mediciones exactas de diámetros interiores. Con el objeto de asegurar un posicionamiento exacto, mueva el extremo de la cabeza de medición de izquierda a derecha, en dirección lateral, hasta determinar el punto más alto en el plano perpendicular al eje. Entonces muévelo, como se muestra en la figura 9.48, hacia adelante y hacia atrás en dirección axial para determinar la distancia más corta. Este procedimiento es necesario aunque el micrómetro cuente con un dispositivo de fuerza constante.



Determinar el punto más alto moviendo el extremo de la cabeza en dirección lateral

Determinar la distancia más corta moviendo el extremo de la cabeza en dirección axial.

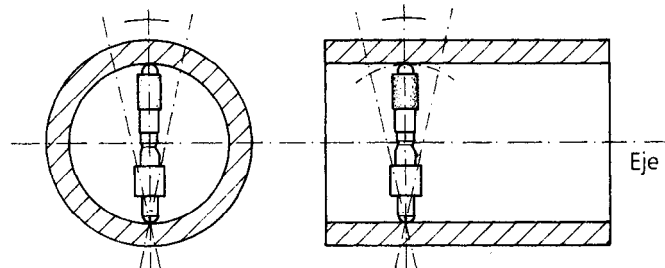


Figura 9.48.

Otra técnica de medición es fijar la longitud del micrómetro a la dimensión del límite inferior de la especificación y entonces, mientras se mide, se van haciendo ajustes finos poco a poco hasta obtener un diámetro exacto.

Los micrómetros tubulares para interiores requieren, comparativamente, mucho tiempo para hacer mediciones. Entre mayor sea el periodo de manejo más se incrementa el efecto del calor de las manos sobre el micrómetro, lo cual puede aumentar sustancialmente su longitud, lo que provocaría una lectura menor. Para minimizar los efectos térmicos, el inspector debería utilizar siempre guantes y también tratar de reducir el tiempo de medición.

Para medir en una posición profunda dentro de un agujero, un soporte puede utilizarse como lo muestra la figura 9.49. En este caso, primero fije la longitud del micrómetro a la dimensión aproximada y después haga ajustes finos hasta que el micrómetro mida exactamente el diámetro. Los medidores de agujeros con indicador de carátula son más efectivos para este tipo de medición.

### Micrómetros de interiores tubulares tipo extensión

Hay dos tipos diferentes: el extensión tipo tubo (Fig. 9.50) y el extensión tipo barra (Fig. 9.51). La máxima longitud de medición de la extensión tipo tubo va desde 100 hasta 5000 mm, y la de extensión tipo barra va desde 50 hasta 1500 mm. La tabla 9.2 muestra la comparación entre los dos tipos.

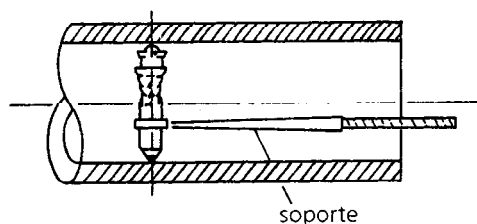


Figura 9.49.

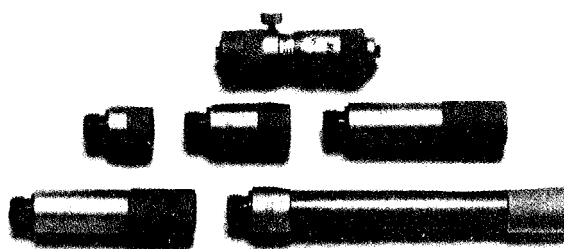


Figura 9.50

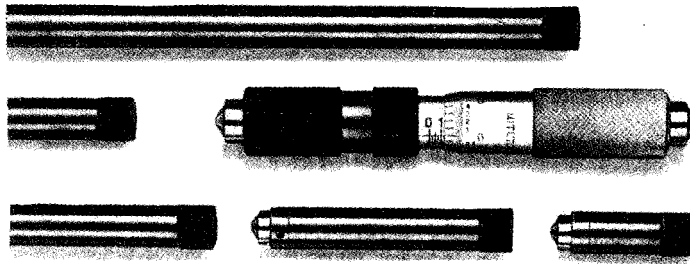


Figura 9.51.

Tabla 9.2. Comparación entre los micrómetros con extensión tubular y barra.

Característica	Tipo de extensión tubular		Extensión tipo barra	
Estructura	Tubo	Cada tubo de extensión está acabado con una tolerancia cerrada en ambos extremos. Una longitud específica se obtiene adicionando tubos de extensión.	Barra	La barra está acabada con una tolerancia cerrada e incorporada dentro de un tubo. Una longitud específica se obtiene adicionando barras de extensión.
Peso	Ligero	A causa de la estructura hueca.	Pesado	A causa de que la barra sólida está incorporada dentro de un tubo.
Flexión	Pequeña	A causa del peso ligero.	Grande	A causa del gran peso.
Efecto térmico	Significativo	El calor es transmitido desde las manos porque el tubo se sostiene directamente por éstas.	Insignificante	Menos sujeto a efectos térmicos, debido a que la barra sirve como longitud de referencia, ya que está dentro de un tubo que es sostenido con las manos.
Durabilidad	Menos durable	La exactitud de la medición resulta afectada porque los extremos del tubo no están cubiertos y están sujetos a contaminación y daño.	Durable	Dado que la barra está incorporada dentro de un tubo, no está sujeta a daño porque la conexión se hace mediante una superficie plana contra una superficie esférica. El punto de contacto está relativamente libre de la contaminación.
Exactitud		Debido a que los extremos del tubo son roscados y atornillados, la longitud total puede cambiar dependiendo del torque utilizado para apretarlos, aunque la flexión de los tubos es pequeña.		Las barras son conectadas mediante un resorte independiente de la conexión de los tubos externos, de modo que el torque que se utilice no afecta la longitud. La exactitud la afecta la flexión cuando se utiliza una barra larga.
Evaluación global	Con peso ligero y facilidad de medición. Es necesario cuidado especial, ya que los extremos están sujetos a daño y la exactitud resulta afectada por el torque utilizado para conectar los tubos. Este tipo es adecuado para usarlo en un laboratorio de inspección, donde el medio ambiente esté controlado.		Debido a su gran peso son menos fáciles de manejar que los tipo tubo. Dado que la barra y el tubo de conexión son independientes, la exactitud no resulta muy afectada por el polvo o manejo descuidado, lo que lo hace adecuado para usarlo en áreas productivas.	

### Micrómetro de interiores tubular tipo varilla intercambiable

Este micrómetro consiste de una cabeza micrométrica, varillas intercambiables de diferentes longitudes y un soporte, como puede apreciarse en la figura 9.50.

Una de las varillas intercambiables se monta en la cabeza micrométrica para obtener el rango deseado de medición.

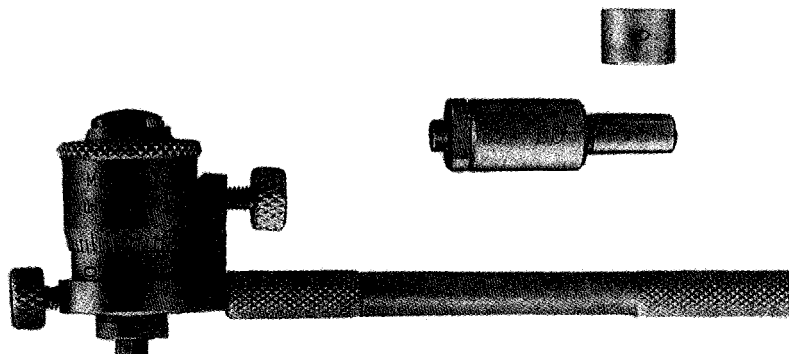


Figura 9.52.

### Micrómetro de interiores tubular tipo punta intercambiable

Este micrómetro tiene la misma construcción que la del tipo barra simple pero las cabezas de medición tienen un agujero donde pueden montarse varios tipos de puntas para medición de roscas internas, ranuras, etcétera (Fig. 9.53).

El ajuste del punto cero de un micrómetro de exteriores para roscas puede hacerse poniendo las dos puntas de medición en contacto o utilizando un perno patrón roscado. Para micrómetros de interiores que miden roscas internas, el ajuste del punto cero debe realizarse contra un micrómetro de exteriores para roscas calibrado adecuadamente o un anillo patrón roscado (Fig. 9.54).

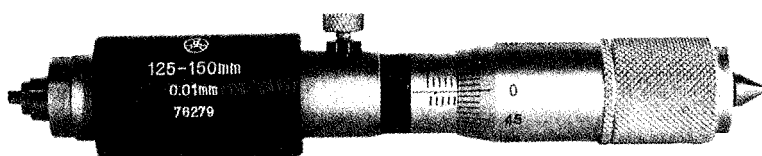


Figura 9.53.

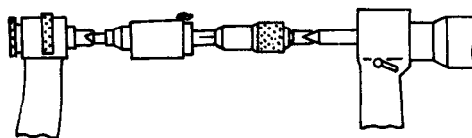


Figura 9.54.

### Micrómetro tubular para medición de engranes internos

Este micrómetro se utiliza para medir los diámetros de engranes internos. Tiene la misma construcción que la del tipo barra simple para interiores, pero las puntas de medición son esféricas, tal como lo muestra la figura 9.55.

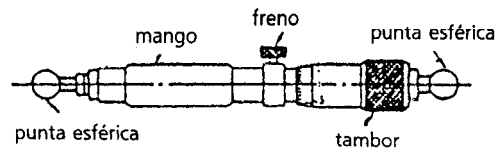


Figura 9.55.

Para ajustar a cero los micrómetros de interiores tipo tubular puede utilizarse alguno de los métodos ilustrados en las figuras 9.56, 9.57 y 9.58.

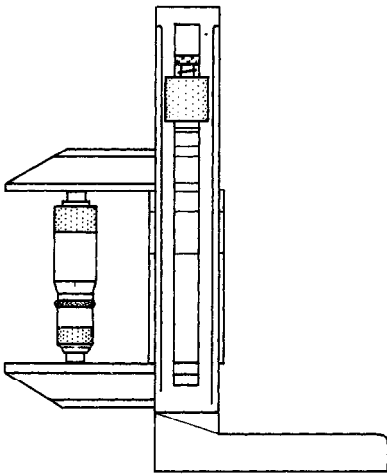


Figura 9.56.

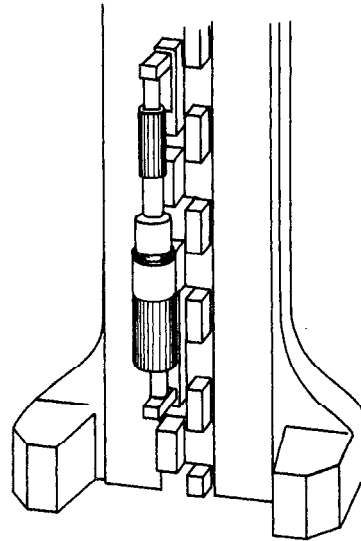


Figura 9.57.

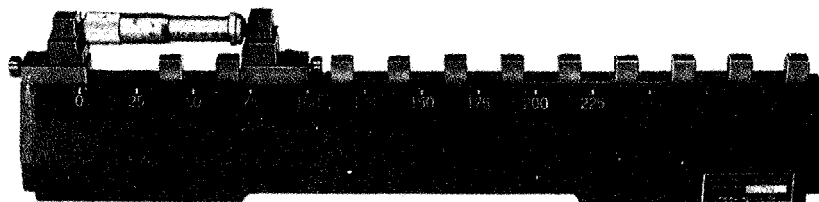


Figura 9.58.

### Micrómetro de interiores tipo calibrador

#### *Estructura de los Micrómetros de Interiores tipo Calibrador*

La figura 9.59 muestra la vista externa de este tipo de micrómetro. La estructura del tambor y cilindro es la misma que la del micrómetro normal de exteriores.

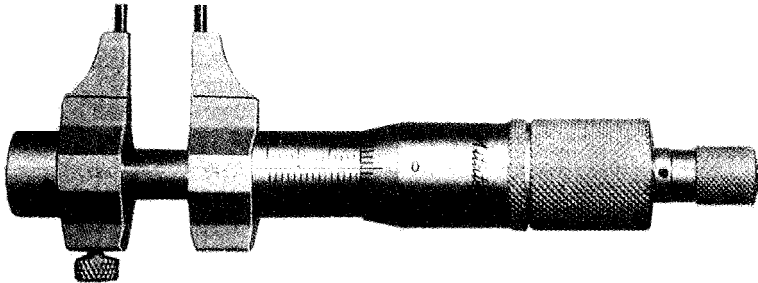


Figura 9.59.

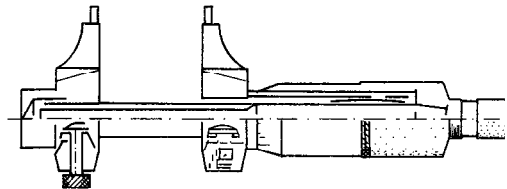


Figura 9.60.

La figura 9.60 muestra la estructura interna del micrómetro de interiores tipo calibrador. El husillo pasa a través de un tubo al cual está montada la punta fija (la punta de la derecha de la figura). Este tubo tiene un cuñero dentro del cual la cuña sobre el casquillo interior se ajusta de modo que la punta fija no gire en la dirección radial, pero puede moverse a lo largo del cilindro para realizar el ajuste. El husillo tiene dos partes, una roscada que gira y otra que no, a la cual está sujeta la punta móvil (la punta izquierda) mediante una tuerca. Cuando el tambor desplaza al husillo y la punta móvil con respecto a la punta fija. La distancia entre las puntas de medición de las puntas fija y móvil se lee desde las graduaciones sobre el cilindro y el tambor. Las graduaciones están dadas en la dirección opuesta respecto de un micrómetro normal de exteriores.

#### *Método de medición*

Para medir diámetros de agujeros con un micrómetro de interiores tipo calibrador deben insertarse los vástagos de las puntas de medición dentro del agujero y girar dos o tres vueltas adicionales el tambor hasta después que el trinquete comience a sonar. En este caso, mueva ligeramente una punta hacia adelante y hacia atrás a lo largo de la circunferencia del agujero mientras gira con lentitud el trinquete. Este ajuste es necesario para obtener el diámetro real del agujero.

#### *Precauciones al utilizar un micrómetro de interiores tipo calibrador*

Debido a que la estructura del micrómetro de interiores tipo calibrador no satisface el principio de Abbe, ocurrirán grandes errores de medición si se aplica

una fuerza de medición excesiva. La misma fuerza de medición utilizada para fijar el punto cero debe aplicarse cuando se realicen mediciones.

Para fijar el punto cero utilice bloques patrón, con sus accesorios, o un anillo patrón de dimensión conocida. Un método más simple, pero de menor confiabilidad, es utilizar un micrómetro de exteriores y medir la distancia entre los topes de medición.

### Micrómetro de interiores tipo tres puntos de contacto

Los micrómetros de interiores antes descritos miden diámetro interiores con sólo dos puntos de contacto. Este método, sin embargo, requiere una considerable experiencia porque el micrómetro debe estar exactamente alineado con la línea diametral del agujero que esté siendo medido. El uso del micrómetro de interiores del tipo tres puntos de contacto es más simple debido a que se alinea a sí mismo con el eje del agujero a través de los tres puntos (topes) de contacto, los cuales están igualmente espaciados. Esto permite realizar mediciones exactas fácilmente, sin que sea necesaria alguna habilidad especial. Este micrómetro utiliza una parte cónica (cono liso o rosca cónica) para convertir el desplazamiento axial del husillo en desplazamiento radial de los puntos de contacto.

La figura 9.61 muestra la estructura externa de un micrómetro de este tipo que utiliza un cono liso, mientras que la figura 9.62 muestra la estructura interna.

Cuando el husillo es desplazado hacia adelante, en dirección axial, la esfera contacto del husillo empuja al cono hacia adelante. Conforme éste avanza, su superficie cónica empuja las tres puntas del contacto hacia afuera, en dirección radial. La medición se lee en el cilindro y el tambor cuando las puntas de contacto tocan la superficie interior del agujero con una fuerza de medición específica.

Para medir un diámetro en una posición profunda dentro de un agujero, una barra de extensión puede montarse entre la cabeza de medición y la cabeza micrométrica.

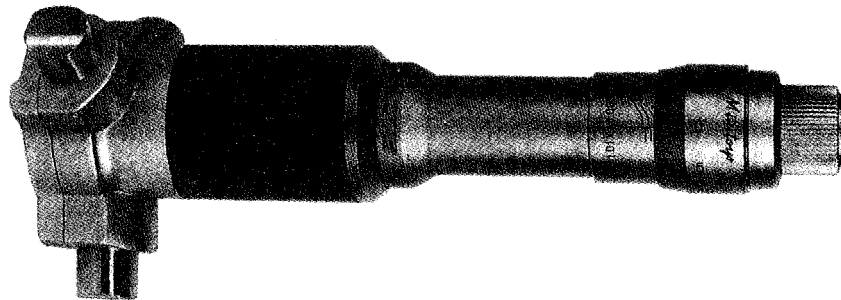


Figura 9.61.



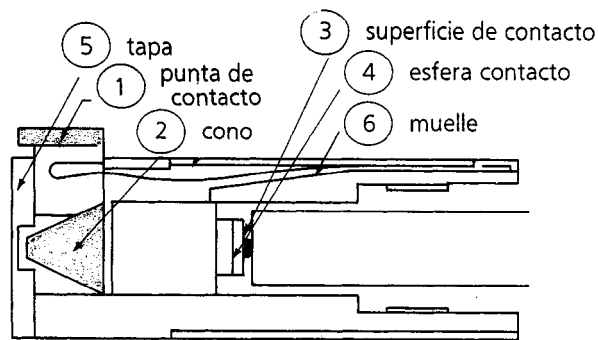


Figura 9.62.

El ajuste a cero de estos micrómetros requiere de anillos patrón.

## MICRÓMETROS DE PROFUNDIDADES

Los micrómetros de profundidades son útiles para medir las profundidades de agujeros, ranuras y escalonamientos.

Los micrómetros de profundidades se clasifican como sigue:

1. Tipo varilla simple
2. Tipo varilla intercambiable
3. Tipo varilla seccionada

De estos tres tipos, el de varillas intercambiables es el que más se utiliza.

### Micrómetro de profundidades tipo varilla simple

Como puede apreciarse en la figura 9.63, este micrómetro consiste de una cabeza micrométrica, un husillo y una base. La construcción del cilindro y el tambor es la misma que la del micrómetro normal de exteriores, pero las graduaciones están dadas en la dirección inversa. El rango de medición típico (recorrido del husillo) es de 25 mm.

La superficie externa del husillo sirve como cara de medición. La base está hecha de acero endurecido. Debido a que la superficie inferior de la base se utiliza como superficie de referencia, está lapeada con exactitud a un alto grado de planitud (aproximadamente  $1.5 \mu\text{m}$ ).

### Micrómetro de profundidades tipo varilla intercambiable

Las figuras 9.64 y 9.65 muestran la vista externa y la estructura de un micrómetro típico de este tipo, el cual utiliza un husillo hueco sin superficie de medición. En su lugar, una varilla intercambiable que pasa a través del husillo y la base tiene

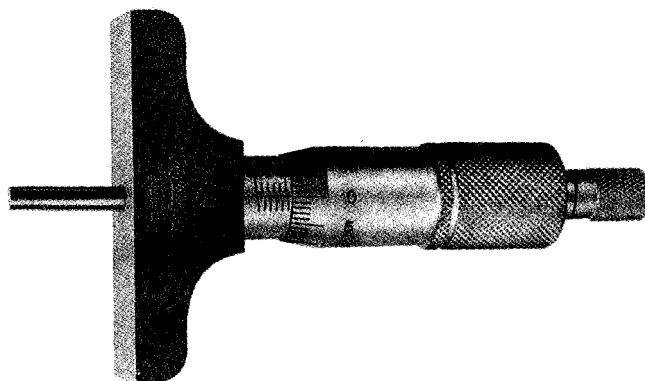


Figura 9.63.

una superficie de medición finamente lapeada en un extremo. El otro extremo de la varilla está sujeto al husillo. El método de fijación depende del fabricante. (Por ejemplo, puede ser un collar en la varilla y un tornillo de fijación o la presión del tornillo de fijación del trinquete contra el extremo de la varilla.)

### *Varillas intercambiables con diversas longitudes*

Estas varillas están disponibles en longitudes que varían 25 mm una de otra y pueden reemplazarse con facilidad de acuerdo con la longitud de medición deseada.

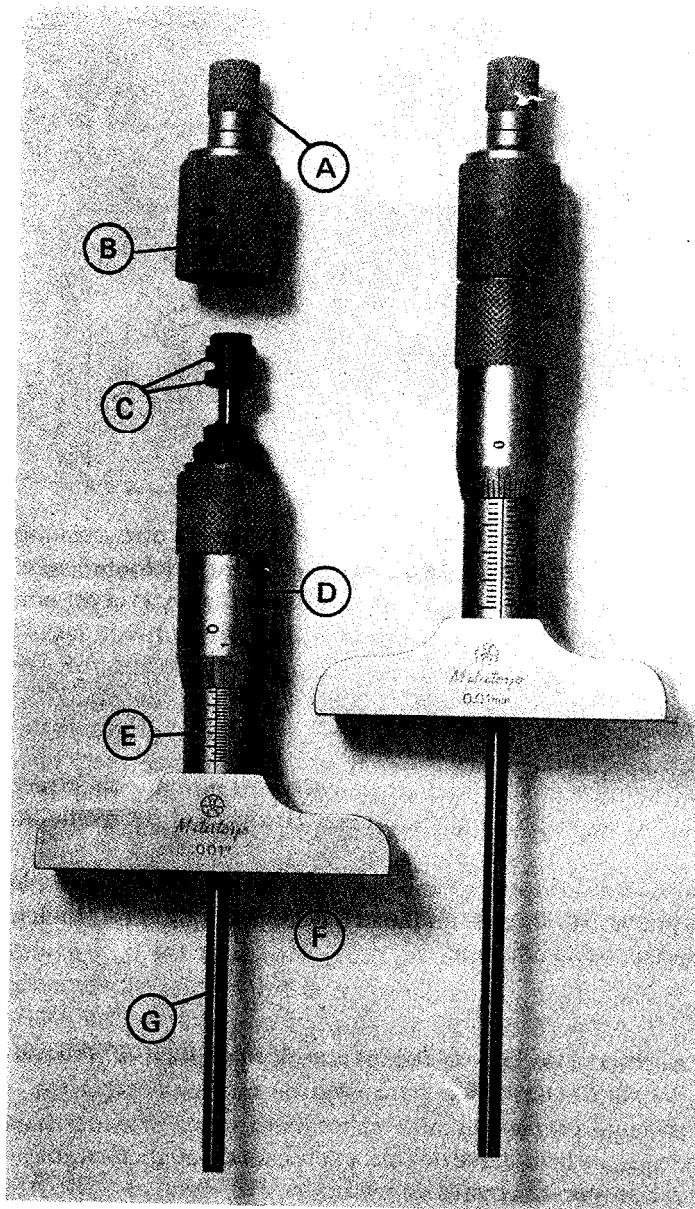
Los tamaños y planitud de la base son similares a los del tipo de varilla simple para interiores. El rango de medición estándar es 0 a 150 mm; algunos pueden medir una profundidad de hasta 300 mm.

### *Precauciones de uso*

1. La superficie de referencia de la base tiende a acumular polvo y rebabas. Siempre mantenga limpia la superficie para asegurar mediciones exactas.
2. Aplique fuerza suficiente a la base cuando realice mediciones. Si la fuerza es insuficiente, la base puede levantarse debido a la fuerza de medición aplicada al husillo, lo cual provocará errores de medición.
3. Cuando utilice una varilla larga, la aplicación de una fuerza excesiva de medición puede flexionarla. También sea cuidadoso de la temperatura ambiente, dado que la expansión térmica será significativa para varillas largas.
4. Verifique el punto cero cada vez que cambie la varilla.

### *Ajuste del cero*

A menos que la varilla esté gastada en exceso, la mayoría de las ocasiones el ajuste del cero puede hacerse girando el cilindro con la llave de ajuste (suministrada con el micrómetro), de manera similar al micrómetro de exteriores. Únicamente cuando la varilla esté desgastada por completo o se inserte una nueva varilla que



- A. Trinquete
- B. Tapa del tambor
- C. Dos tuercas soporte  
la longitud total del husillo  
es precalibrada y fijada me-  
diante estas tuercas de  
ajuste
- D. Tambor  
Los números están en or-  
den inverso al de los micró-  
metros de exteriores
- E. Cilindro  
Los números empiezan de  
arriba y van hacia la base
- F. Base
- G. Varilla intercambiable

Figura 9.64.

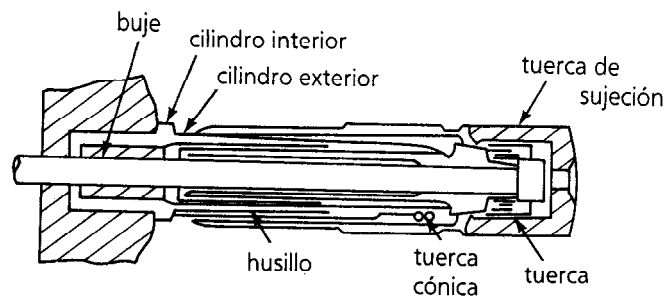


Figura 9.65.

requiera reajuste, mueva las tuercas soporte con la misma llave. Un giro en sentido antihorario incrementa la longitud de la varilla de medición.

El ajuste del cero puede realizarse con bloques patrón de medida adecuada (25, 50, 75 mm, etc.) sobre una superficie de referencia, tal como la de una mesa de granito o con un accesorio como el que muestra la figura 9.66.

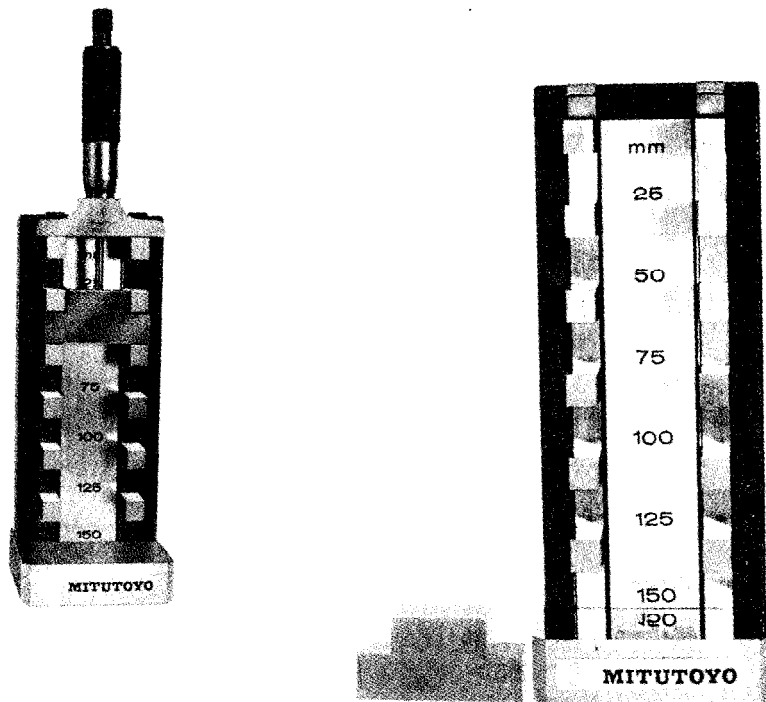


Figura 9.66.

### Micrómetro de profundidades tipo varilla seccionada

Este tipo de micrómetro está diseñado para superar las desventajas del tipo de varilla simple (su limitado rango de medición) y del tipo de varilla intercambiable (el cual requiere varias longitudes de varillas que deben cambiarse para diferentes longitudes de medición). El tipo de varilla seccionada permite seleccionar la longitud efectiva de la varilla con una varilla larga que tiene ranuras V alrededor de su circunferencia a intervalos de 25 mm a lo largo del eje.

Las figuras 9.64 y 9.67 respectivamente, muestran la vista externa y la estructura de un micrómetro de profundidades tipo varilla seccionada.

El husillo de este tipo de micrómetro es hueco, lo cual es similar al de varillas intercambiables, pero tiene un retén en un extremo para fijar la varilla a una de las ranuras y así fijar la longitud efectiva de la varilla. El rango de medición estándar de este tipo es 0 a 300 mm.



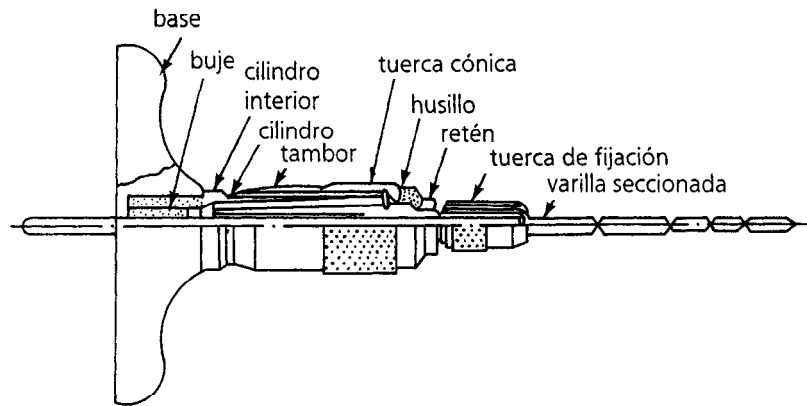


Figura 9.67.

## MICRÓMETROS DIGITALES

### Lectura analógica contra lectura digital

Cuando el diámetro de una barra redonda o el espesor de una lámina se mide con un micrómetro convencional, la medición la indica una escala analógica.

Si el valor de la dimensión pudiera expresarse, se requeriría un número infinito de dígitos decimales. Cuando una dimensión puede representarse mediante un número finito de dígitos, digamos 10.24 mm o 10.25 mm, este número es realmente la mejor estimación que el inspector puede leer sobre la escala de su instrumento. En otras palabras, el inspector ha convertido, basado en su juicio el valor análogo en un valor digital. Un instrumento de medición capaz de proporcionar valores digitales elimina la necesidad de que el inspector emita un juicio al leer la escala.

Con el objeto de obtener lecturas digitales, es necesario disponer de un dispositivo o mecanismo que convierta datos análogos en digitales. Con este propósito algunos instrumentos de medición utilizan contadores, mientras que otros usan convertidores analógicos/digitales eléctricos.

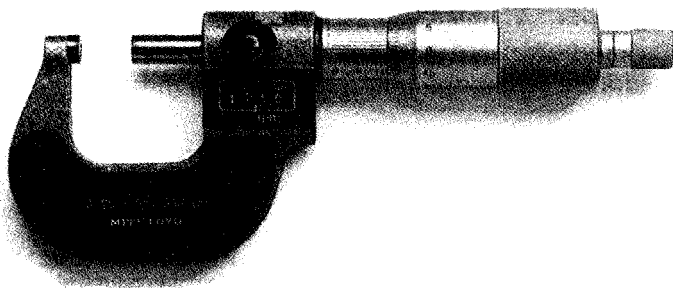


Figura 9.68.

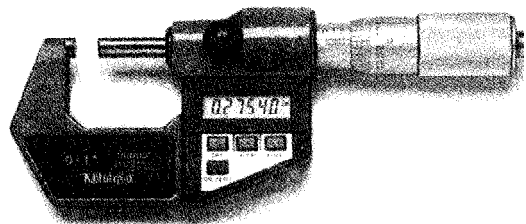


Figura 9.69.

Los micrómetros con lectura digital que proporcionan lecturas directas utilizan un contador mecánico o electrónico, como lo muestran las figuras 9.68 y 9.69. El tipo con contador mecánico normalmente proporciona lecturas con resolución de 0.01 mm. Los micrómetros electrónicos detectan el desplazamiento del husillo con un codificador rotatorio y proporcionan lecturas con resolución de 0.001 mm.

#### Micrómetros con contador mecánico

Los micrómetros digitales tipo mecánico incorporan un contador que cuenta 1/50 de una revolución del husillo. Este mecanismo se emplea no sólo para los micrómetros normales de exteriores, sino también para los micrómetros de interiores (Fig. 9.70), cabezas micrométricas (Fig. 9.71), micrómetros de profundidades (Fig. 9.72) y otros tipos de micrómetros para fines especiales.

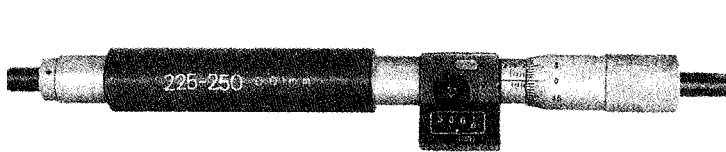


Figura 9.70.

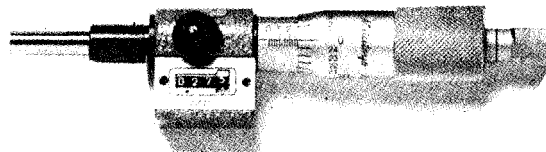


Figura 9.71.

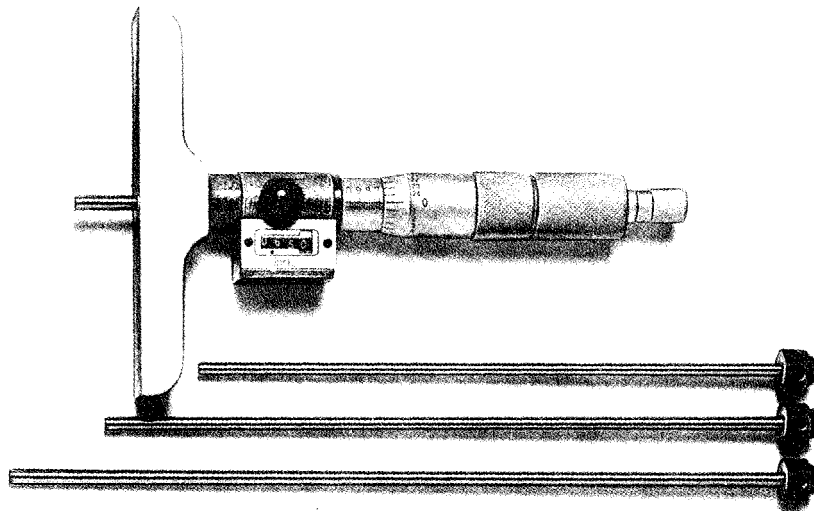


Figura 9.72.

#### Mecanismo del contador

La figura 9.73 muestra el mecanismo contador de un micrómetro de exteriores. Cada anillo del contador tiene los dígitos del 0 al 9 inscritos a su alrededor. La mínima división decimal indica una unidad de 0.01 mm, por lo tanto, una revolución completa del anillo contador (diez dígitos) corresponde a una longi-

tud medida de 0.1 mm. Si el husillo del micrómetro tiene un paso de rosca de 0.5 mm (lo que significa que una revolución del husillo corresponde a 0.5 mm de desplazamiento lineal del husillo) entonces para indicar una unidad de 0.01 mm el anillo contador para el mínimo dígito debe girar cinco revoluciones por cada vuelta del husillo. Para lograr esto el husillo y su anillo contador están conectados mediante un tren de engrane con relación de 5 a 1.

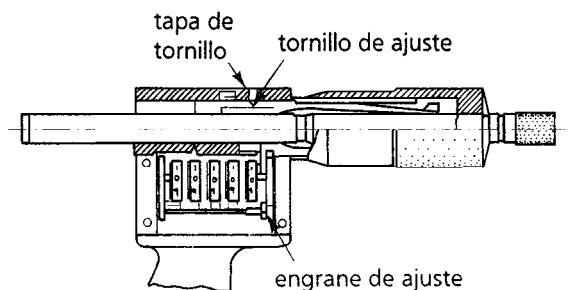


Figura 9.73.

### *Ajuste del cero del micrómetro digital (hasta 100 mm)*

A. Lectura correcta del tambor con lectura falsa del contador (Fig. 9.74).

1. Remueva la tapa (1) y gire el tambor hasta que el tornillo de ajuste (3) esté localizado en la base del agujero.
2. Afloje el tornillo de ajuste (3) y gire el tambor, retenga el tornillo de ajuste (3) con un destornillador hasta que en el contador figure la lectura del tambor.
3. Apriete el tornillo de ajuste (3).

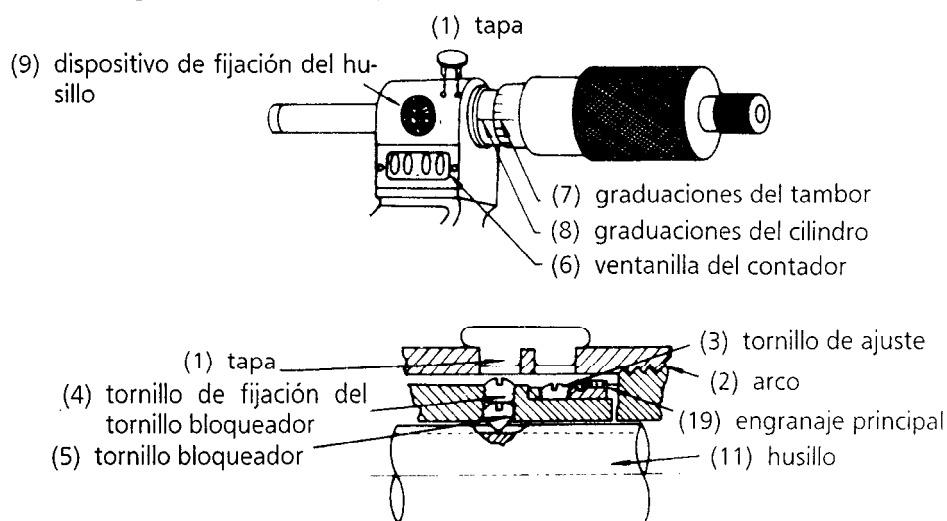


Figura 9.74.

4. Asegúrese que tanto en el tambor como en el contador figure la misma lectura en el punto cero. Coloque la tapa (1).
- B. Lectura correcta del contador con lectura falsa del tambor.
1. Si el tambor está desviado en aproximadamente  $\pm 0.01$  mm, gire el cilindro con la llave de ajuste —suministrada en el equipo— hasta no corregir la desviación observada.
  2. Si el tambor está desviado en más de  $\pm 0.01$  mm, proceda como se indicó antes para el micrómetro estándar de exteriores.

**Lectura de micrómetros con contador mecánico**

El contador digital lee a 0.01 mm, lo que concuerda con la misma lectura en las graduaciones convencionales del cilindro y el tambor. El micrómetro

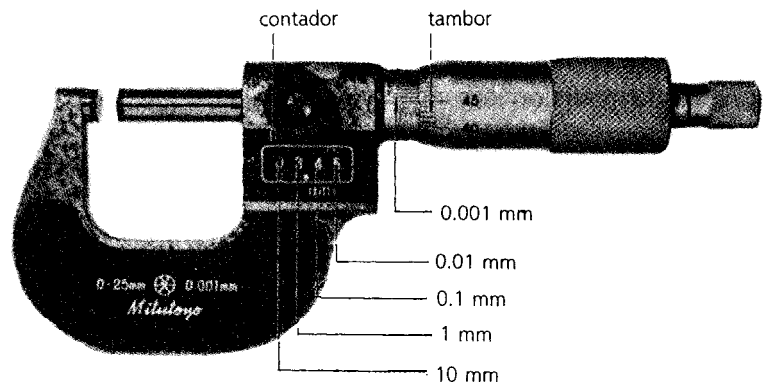
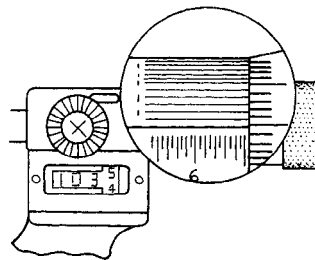


Figura 9.75.



Lectura del contador	10.3
Lectura del tambor	0.04
Lectura del vernier	0.006 (+)
Lectura total del micrómetro	10.346

Figura 9.76.



digital puede dotarse con una escala de vernier para lecturas mínimas de 0.001 mm.

La figura 9.75 muestra cómo leer un micrómetro que utiliza un contador mecánico y un vernier. En el caso que muestra la figura 9.76 sea cuidadoso, de no considerar la lectura como 10.356. (Este error ocurre cuando el dígito mínimo se lee incorrectamente.)

### Ventajas de los micrómetros de lectura digital

La ventaja obvia de los micrómetros de lectura digital es la facilidad con que se leen. Una desventaja en los micrómetros analógicos convencionales es que existe la posibilidad de equivocar la lectura de las divisiones del cilindro por 0.5 mm. Este problema no se presenta con los micrómetros de lectura digital.

Una de las precauciones indispensables en la lectura de un micrómetro con contador mecánico es evitar el error de lectura de un dígito cuando el próximo dígito mínimo está cercano a cambiar de 0 a 9.

El siguiente experimento fue realizado para encontrar la diferencia de las frecuencias en que ocurren errores de lectura de 0.5 mm entre un micrómetro análogo y uno de lectura digital.

Doce usuarios experimentados y 18 personas sin experiencia (pero que sabían cómo usar un micrómetro) participaron en el experimento. Los diámetros de cinco porciones sobre una pieza muestra (Fig. 9.77) se midieron utilizando un micrómetro con lectura digital con contador mecánico y otro normal de exteriores. La tabla 9.3 muestra los resultados del experimento.

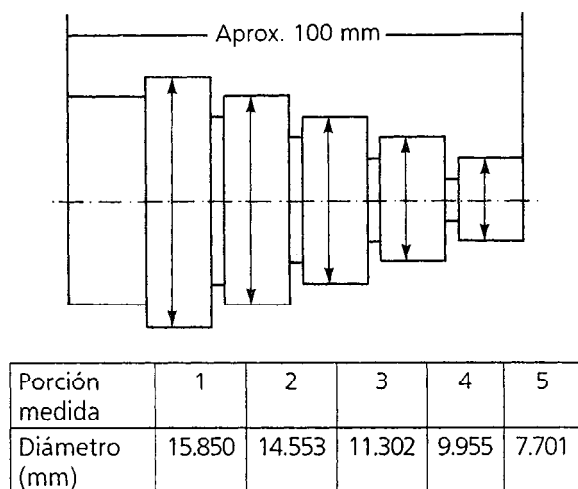


Figura 9.77.

**Tabla 9.3.** Resultados del experimento sobre error de lectura de 0.5 mm

Micrómetro utilizado	Número y porcentaje de lecturas erróneas			
	Micrómetro normal de exteriores		Micrómetro de exteriores con lectura digital	
En los 12 experimentados	4	6.7%	0	0%
En los 18 sin experiencia	14	15.6%	0	0%
Total	18	12.0%	0	0%

Ambos tipos de usuario (expertos e inexpertos) cometieron errores de lectura de 0.5 mm cuando utilizaron el micrómetro normal de exteriores. Por otro lado, ninguno cometió errores de lectura de 0.5 mm cuando utilizaron el micrómetro de exteriores de lectura digital.

## MICRÓMETROS ELECTRODIGITALES

El rápido progreso de la tecnología de circuitos integrados y la creación de dispositivos de pantallas tales como las de cristal líquido, han permitido incorporar habilidades digitales y electrónicas a los micrómetros.

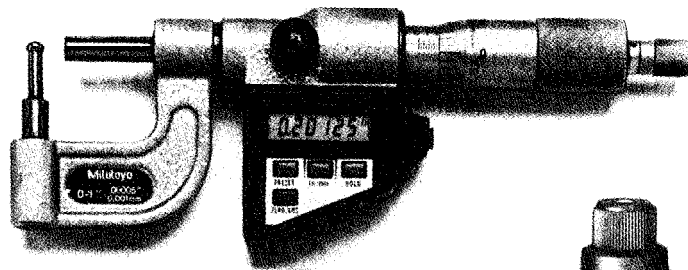


Figura 9.78.

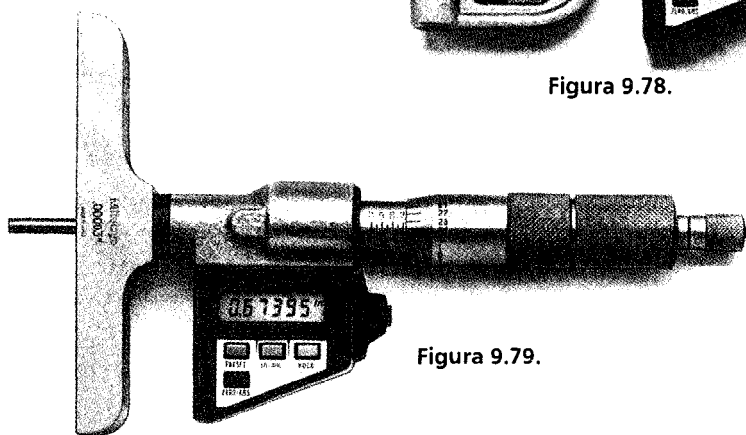


Figura 9.79.

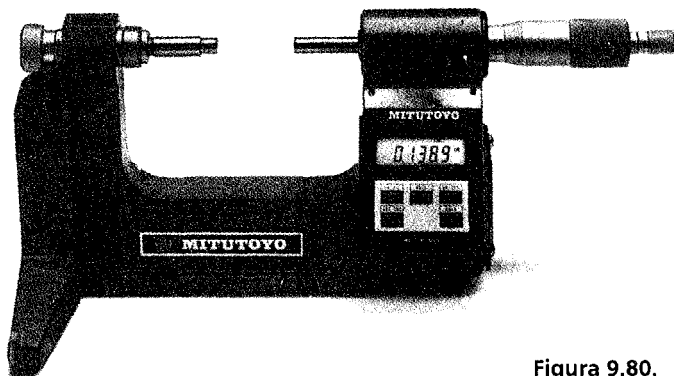


Figura 9.80.

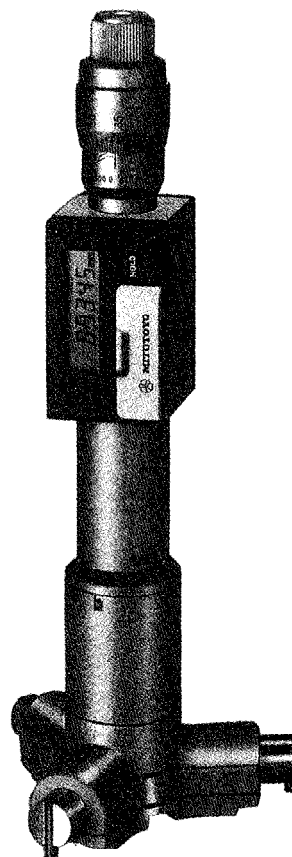


Figura 9.81.

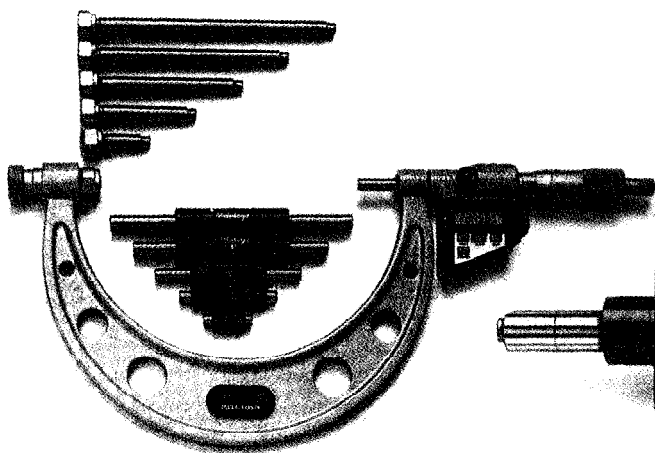


Figura 9.82.



Figura 9.83.

Estas características avanzadas han eliminado errores humanos en la lectura y posibilitan que los micrómetros sean integrados a sistemas de procesamiento de datos, lo que allana el camino a un nuevo campo de la medición y la inspección.

Los micrómetros electrodigitales incorporan un codificador rotatorio fotoeléctrico o tipo capacitancia que detecta la rotación del husillo y eléctricamente divide la señal de conteo para mostrar en pantalla una resolución de 0.001 mm. En la actualidad este sistema electrónico lo utilizan prácticamente todos los tipos de micrómetros, incluso los de uso especial, como lo ejemplifican las figuras 9.78, 9.79, 9.80, 9.81, 9.82 y 9.83.

### ERRORES INVOLUCRADOS EN LA MEDICIÓN CON MICRÓMETRO

Es importante conocer las posibles causas de errores cuando se realicen mediciones con micrómetros u otros instrumentos de medición. Basándose en este conocimiento, deben utilizarse el instrumento y el método de medición apropiados.

Es necesario considerar los siguientes puntos cuando se hagan mediciones con un micrómetro:

1. Principio de Abbe
2. Error de paralaje
3. Puntos Airy, puntos Bessel
4. Ley de Hooke
5. Deformación de Hertz

6. Efecto de la temperatura
7. Error instrumental

### Principio de Abbe

Ernst Abbe propuso, en 1890, que la "máxima exactitud puede obtenerse únicamente cuando el eje del instrumento está alineado con el eje de la pieza que está siendo medida". Este es el llamado principio de Abbe; enseguida se proporcionan ejemplos explicativos.

Ejemplo 1 (Fig. 9.84).

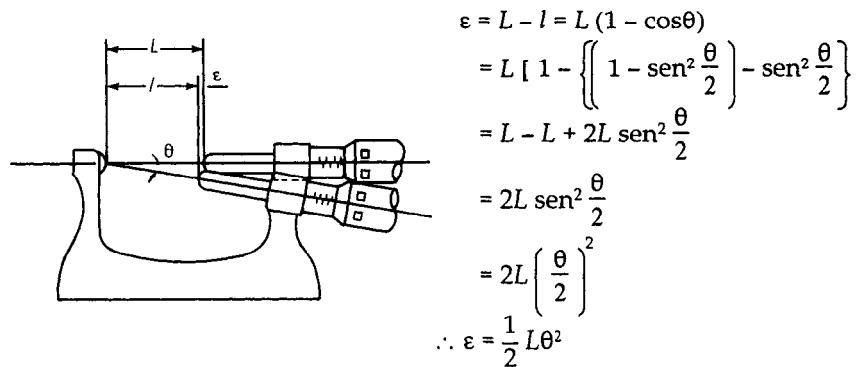


Figura 9.84.

Ejemplo 2 (9.85):

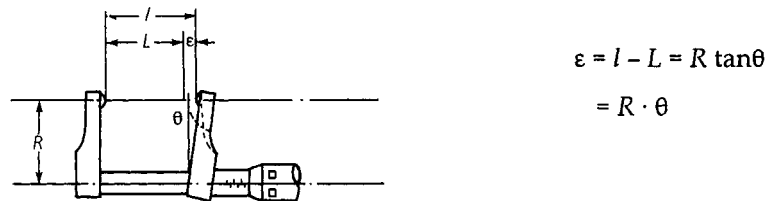


Figura 9.85.

Haciendo  $\theta = 1/300$  rad,  $L = 30$  mm y  $R = 30$  mm

Sustituyendo en la fórmula para el ejemplo 1

$$\varepsilon = 0.000017 \text{ mm}$$

Sustituyendo en la fórmula para el ejemplo 2

$$\varepsilon = 0.01 \text{ mm}$$

El error en el ejemplo 1 es normalmente despreciable, dado que es una función cuadrática del ángulo  $\theta$ ; por otro lado, el error en el ejemplo 2 puede ser significativo porque es una función lineal del ángulo  $\theta$ .

### Error de paralaje

El paralaje es el cambio en la orientación relativa aparente de un objeto cuando es visto desde diferentes posiciones; causa errores de medición cuando hay una diferencia de altura entre dos superficies graduadas, como lo muestra la figura 9.86. En este caso, la alineación aparente de las líneas de graduación difieren según la posición del ojo.

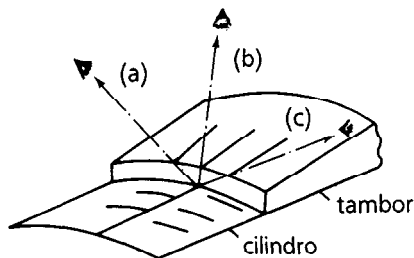


Figura 9.86.

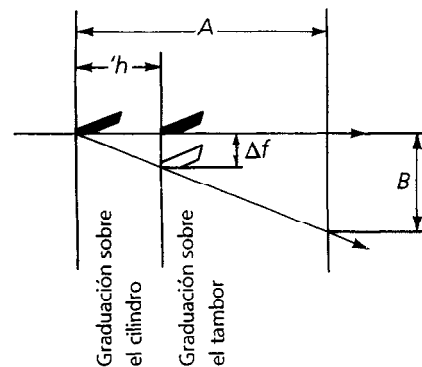


Figura 9.87.

En la figura 9.87 haciendo:

$A$  = distancia vertical entre la superficie del cilindro y el ojo.

$h$  = diferencia de altura entre las superficies graduadas del cilindro y el tambor.

$B$  = distancia horizontal entre la línea índice sobre el cilindro y el tambor.

Entonces el error de paralaje está dado como sigue:

$$(a) \quad \Delta f = \frac{B \cdot h}{A}$$

Si  $A = 250$  mm,  $h = 0.35$  mm y  $B = 130$  mm

(Esto es visto desde un ángulo aproximado de  $30^\circ$ ).

Entonces el error de paralaje calculado con la fórmula (g) será:

$$\Delta f = \frac{130(0.35)}{250} = 0.182 \text{ mm}$$

En este ejemplo, el error de medición causado por el paralaje puede obtenerse dividiendo éste entre la amplificación del micrómetro (relación del espaciamiento de las graduaciones al correspondiente desplazamiento de discriminación del husillo). Si el diámetro exterior del tambor es 14.5 mm y la circunferencia está graduada en 50 divisiones iguales, el espaciamiento de las graduaciones está dado como:

$$\frac{14.5\pi}{50} = 0.911 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el error de medición debido al paralaje es calculado como:

$$\text{Paralaje} + \frac{\text{espaciado de las graduaciones}}{\text{discriminación}}$$

$$= 0.182 + \frac{0.01}{0.911} = 0.002 \text{ mm}$$

### Puntos Airy y puntos Bessel

Cuando una barra larga y delgada está soportada horizontalmente, tal como una barra de referencia utilizada para ajustar el cero de un micrómetro de exteriores con una gran longitud de medición o un micrómetro tubular de interiores, la cantidad de flexión debida a su propio peso varía significativamente dependiendo de las posiciones de los soportes. Esta variación puede ser causa de errores de medición; los puntos Airy y los puntos Bessel son puntos de soporte para obtener condiciones específicas de flexión.

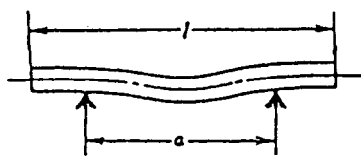
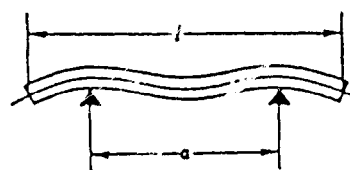
#### *Puntos Airy*

Los puntos Airy se utilizan para soportar patrones, como bloques patrón o barras de referencia, de modo que las caras extremas queden paralelas (véase Fig. 9.88). Los puntos de soporte están dados por la siguiente fórmula:

$$a = \frac{L}{\sqrt{N^2 - 1}}$$

Donde  $N$  = número de puntos de soporte.

Si las dos caras extremas del patrón y las superficies medidas son paralelas, el error de medición es una función lineal de la cantidad de flexión.

Figura 9.88. Puntos Airy  $a = 0.5774l$ Figura 9.89. Puntos Bessel  $a = 0.5594l$ 

### Puntos Bessel

Los puntos Bessel se aplican cuando dos puntos soportan una barra, éstos minimizan la contracción de la longitud total (Fig. 9.89). Este método es adecuado para soportar micrómetros tubulares de interiores y reglas patrón graduadas en la superficie neutra.\*

Los puntos Bessel también son utilizados cuando un extremo de un patrón hace un punto de contacto con una superficie medida.

### Ley de Hooke

La ley de Hooke muestra la relación entre esfuerzo y deformación dentro del límite elástico; el esfuerzo de un sólido elástico es directamente proporcional a la deformación que se le aplica. Cuando una carga longitudinal es aplicada a una barra, la cantidad de contracción  $\delta L$ , en mm, está dada como sigue:

Considerando:

$A$  = Área de la sección transversal ( $\text{mm}^2$ )

(Para una barra con diámetro  $D$ :  $A = \frac{\pi}{4} \times D^2$ )

$L$  = longitud (mm)

$E$  = módulo de elasticidad longitudinal (módulo de Young,  $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

$P$  = carga (kg)

$$\text{Entonces } \delta L \text{ (mm)} = \frac{PL}{EA}$$

\* Superficie neutra. Cuando una viga es flexionada hacia abajo mediante una fuerza que no causa esfuerzos cortantes, se dice que está sujeta a flexión simple; en este caso la viga está sujeta a compresión en el lado superior y a tensión en el lado inferior, mientras que en el centro hay una superficie que no está sujeta a tensión ni compresión. Esta superficie se denomina superficie neutra. Si la viga tiene una sección transversal rectangular y es flexionada en dos direcciones ortogonales, la línea formada por la intersección de las dos superficies neutras ortogonales recibe el nombre de eje neutro y toma la forma de una catenaria.

Supóngase que una barra de referencia ( $D = 8 \text{ mm}$ ,  $L = 100 \text{ mm}$ ) es medida utilizando un micrómetro de exteriores con una fuerza de medición de  $1 \text{ kg}$ ,  $P = 1 \text{ kg}$  y considerando  $E = 2 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ , la cantidad de contracción o alargamiento ( $\delta L$ ) de la barra de referencia será:

$$\delta L = \frac{1 \times 100}{20\,000 \times 16\pi} = \frac{100}{20\,000 \times 16\pi} = 0.001 \text{ mm}$$

### Deformación de Hertz

La fórmula de Hertz es empírica, y da la cantidad de superficie deformada dentro del límite elástico cuando dos superficies (esférica, cilíndrica o superficies planas) están presionadas una contra otra por una cierta fuerza. La fórmula se aplica a combinaciones específicas de superficies, por ejemplo: una superficie esférica contra una plana, una superficie cilíndrica contra un plano y dos superficies cilíndricas (cuyos ejes sean ortogonales). Es una fórmula importante para determinar la deformación que causa la fuerza de medición en una pieza.

Cuando dos superficies hacen contacto en un punto a lo largo de una línea, como lo muestra la figura 9.90 y son presionadas una contra otra por una fuerza de medición ( $P$ ), en cada caso la cantidad de deformación ( $\delta_1$  y  $\delta_2$ ) está dada como sigue:

- a) Superficie esférica y plano (punto contacto)

$$\delta_1 = 3.8 \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}$$

- b) Superficie cilíndrica y plano (línea contacto)

$$\delta_1 = 0.92 \frac{P}{L} \sqrt[3]{\frac{1}{D}}$$

Donde:

Módulo de elasticidad (para el acero):  $E = 2 \times 10^4 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$

Cantidad de deformación:  $\delta \text{ (}\mu\text{m)}$

Diámetro de bola/cilindro:  $D \text{ (mm)}$

Longitud de cilindro:  $L \text{ (mm)}$

Carga:  $P \text{ (kgf)}$

Suponiendo que una bola ( $D = 1 \text{ mm}$ ) y un cilindro ( $D = 1 \text{ mm}$ ,  $L = 5 \text{ mm}$ ) es medida con una fuerza ( $P = 1 \text{ kg}$ ), las cantidades de deformación son:

a)  $\delta_1 = 3.8 \mu\text{m}$

b)  $\delta_2 = 0.18 \mu\text{m}$



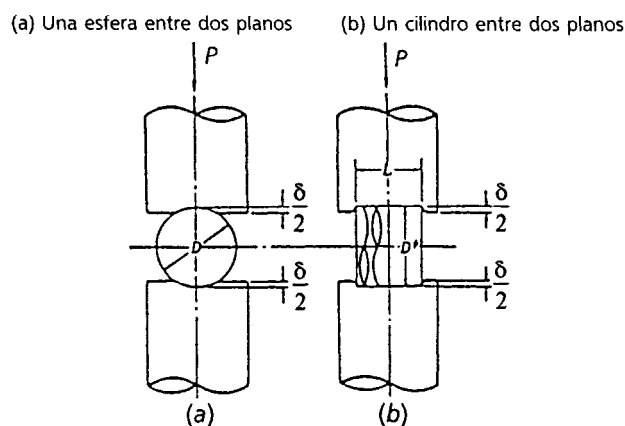


Figura 9.90.

### Efectos de la temperatura

Los objetos se contraen o expanden con cambios en la temperatura, por tanto, las condiciones de ésta deben especificarse cuando se discutan dimensiones. Esta consideración es particularmente importante cuando se requiere una gran exactitud en la medición, durante la medición de una pieza larga o cuando vaya a medir una pieza que está hecha de un material diferente al del instrumento. *La temperatura estándar internacional para medición es 20°C.* Las discusiones acerca de las dimensiones deben estar basadas en esta temperatura. Una instalación especial, como un cuarto con temperatura controlada, es indispensable para mantener la temperatura estándar. Tanto la pieza como el instrumento de medición requieren un periodo largo para estabilizarse térmicamente a la temperatura estándar. Debido a esto, el estricto apego a la temperatura estándar es algunas veces impráctico en términos de costo y tiempo. Pueden utilizarse medidas más prácticas, considerando el hecho de que muchos productos son maquinados, ensamblados y usados bajo condiciones ambientales similares (generalmente 10° a 35°C).

El cambio de longitud que experimenta un sólido en una unidad de longitud con un cambio de temperatura de 1°C se denomina coeficiente de expansión

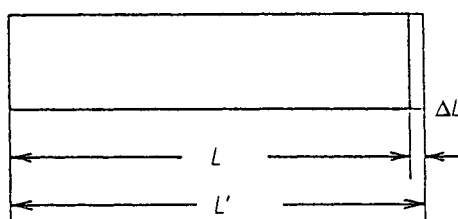


Figura 9.91.

lineal. Este coeficiente es igual para objetos del mismo material y estructura de grano y que hayan pasado a través de un mismo tratamiento o proceso.

En la figura 9.91 supongamos que una longitud  $L$  de un objeto de temperatura  $t_1$  cambia  $L'$  a una temperatura diferente  $t_2$ , la expansión  $\Delta L$  del objeto es:

$$\Delta L = L' - L$$

El coeficiente de expansión de este objeto está expresado como sigue:

$$\alpha = \frac{L' - L}{(t_2 - t_1)L} = \frac{\Delta L}{L} \times \frac{1}{\Delta t}$$

Por lo tanto, puede obtenerse la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}\Delta L &= \alpha L \Delta t \\ \therefore L' &= L (1 + \alpha \Delta t)\end{aligned}$$

Como referencia, se dan coeficientes de expansión térmica de algunos materiales.

Hierro fundido	$9.2 \text{ a } 11.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Acero al carbono	$10 \text{ a } 13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Bronce	$18.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Aluminio	$23.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Cerámica ( $\text{ZrO}_2$ )	$10 \text{ a } 11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Con el objeto de minimizar errores en la medición debidos a la temperatura, asegúrese de que la pieza y el instrumento de medición estén a la misma temperatura. Las siguientes son algunas de las precauciones que deben observarse.

1. No sostenga la pieza o el instrumento en sus manos durante mucho tiempo.
2. No exponga la pieza o el instrumento a la luz directa del Sol.

En particular deberá tenerse especial cuidado cuando vaya a medirse una pieza grande y cuando los coeficientes de expansión lineal entre la pieza y el instrumento de medición sean diferentes.

### Error instrumental

Ningún instrumento de medición puede manufacturarse libre de errores por completo. Conforme los requerimientos de exactitud de un instrumento de medición aumentan, la dificultad de manufactura crece. Por lo tanto, los instrumentos de medición deben seleccionarse de acuerdo con el requerimiento de exactitud. Aun si se utiliza un instrumento muy exacto, pueden ocurrir errores

de medición debido a la variación en las condiciones ambientales y los errores humanos.

El error instrumental es aquel inherente a un instrumento de medición. En otras palabras, es la diferencia entre los valores verdadero y medido cuando una medición se toma bajo las condiciones estándar especificadas para el instrumento que se esté utilizando. Es importante conocer el error del instrumento, ya que compensando el error pueden obtenerse mediciones más exactas. El error instrumental puede determinarse mediante calibración. Cuando compense un valor medido debido al error instrumental cambie el signo del valor de éste y súmelo al valor medido.

El error instrumental para cada instrumento tiene un valor máximo admisible establecido en normas o por especificaciones de los fabricantes.

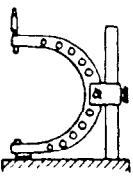
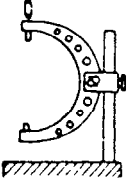
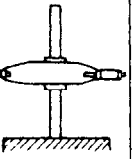
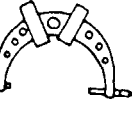
## CUIDADOS GENERALES REQUERIDOS AL UTILIZAR MICRÓMETROS

En los siguientes párrafos se proporciona una descripción del cuidado general necesario para minimizar errores de medición cuando se utilicen micrómetros.

1. Elimine completamente polvo y aceite de las superficies de medición, determine si existen rayaduras o rebabas sobre las superficies de medición, ya que es frecuente encontrar éstas cerca de los bordes; utilice una piedra de aceite de grano fino (por ejemplo, piedra de Arkansas o Cerastone).
2. Verifique que (I) el tambor gire suavemente, (II) el tambor no se pegue al cilindro cuando gire, (III) el trinquete gire suavemente y (IV) el freno sea efectivo.
3. Ajuste del punto cero. Mantenga el trinquete entre los dedos pulgar y medio. Gire suavemente el trinquete para poner en contacto las superficies de medición de los topes. Luego gire el trinquete 1 1/2 o 2 vueltas más. Entonces confirme que la línea cero sobre el tambor esté alineada con la línea índice sobre el cilindro. Repita este proceso dos o tres veces para confirmar la alineación (cuando mida una pieza, opere el trinquete en la misma forma).
4. Cuando haga mediciones verifique el punto cero periódicamente para confirmar que no haya discrepancia. Las mediciones deben realizarse en las mismas condiciones (orientación, fuerza de medición, etc.) que existieron cuando se fijó el punto cero para la medición. Esta práctica es particularmente importante cuando se utiliza un micrómetro de gran tamaño.
5. Cuando haga mediciones asegúrese de que el micrómetro no esté sujeto a cambios bruscos de temperatura, luz solar directa, calor radiante o corriente de aire que puedan ocasionar una variación significativa en la temperatura.

6. Cuando se mida una pieza pesada que esté montada sobre una máquina, el micrómetro deberá ser cuidadosamente orientado, esto es importante sobre todo cuando la longitud de medición excede 300 mm (véase Tabla 9.4).

**Tabla 9.4.** Error debido a cambio en la postura de medición

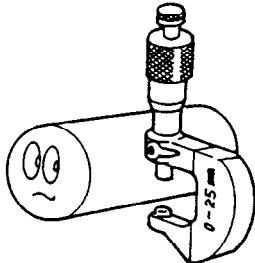
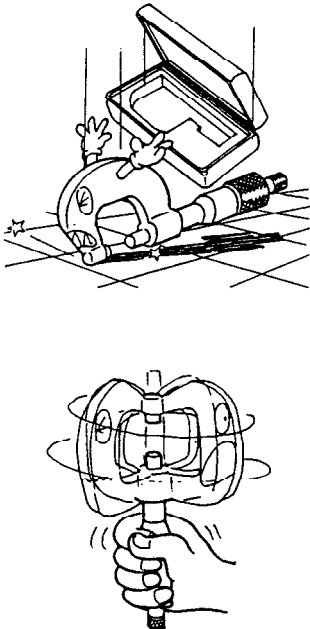
	Ajuste del acero	Error y postura de medición		
(mm)				
325	0	-5.5		-4.5
425	0	-2.5		-10.5
525	0	-5.5		-10.0
625	0	-11.0	0	-5.5
725	0	-9.5	-9.5	-19.0
825	0	-18.0	-5.0	-35.0
925	0	-22.5	-14.0	-27.0
1.025	0	-26.0	-5.0	-40.0

Como puede observarse, el micrómetro debe ajustarse a cero en la misma posición en la que se va a hacer la medición.

7. Cuando se esté midiendo una pieza esférica o cilíndrica, en la cual la superficie de la pieza hace contacto sobre las superficies de medición del micrómetro en un punto o línea, debe tenerse especial cuidado para: (I) prevenir "juego del husillo" debido a juego excesivo entre éste y su guía en el extremo del cilindro interior; (II) aplicar una fuerza de medición apropiada, y (III) asegurarse de que las superficies de medición estén planas y paralelas.
8. Minimice errores de paralaje observando desde el ángulo correcto. Vea la línea índice del cilindro directamente arriba desde el frente.
9. Nunca mida una pieza que esté en movimiento, cuando mida una pieza montada sobre una máquina, pare ésta y espere a que la pieza esté en reposo; después limpie la pieza de polvo y cualquier otro contaminante y tome las medidas con el micrómetro orientándolo adecuadamente.
10. Alimente el husillo girando únicamente el tambor, nunca gire el micrómetro sujetándolo del tambor, ya que este manejo puede dañar el instrumento.
11. No intente girar el tambor cuando esté puesto el freno.

12. Cuando el micrómetro se haya caído o golpeado, verifique el ajuste del cero y su buen funcionamiento antes de volver a utilizarlo.

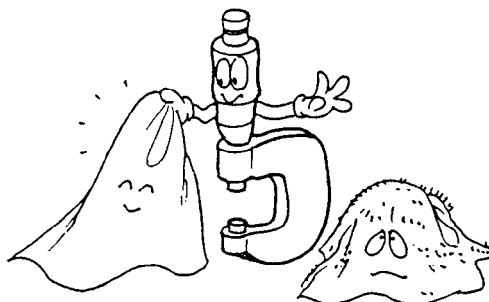
Las figuras de las páginas siguientes ilustran algunos cuidados básicos durante la utilización de micrómetros.

<p>1. Seleccione el micrómetro que mejor se ajuste a la aplicación.</p> <p>Asegúrese de que el tipo, rango de medición, graduación y otras especificaciones del micrómetro son apropiadas para la aplicación.</p>	 A line drawing of a micrometer. The frame has a sad face with a single curved line for a mouth. The sleeve is marked with '0-25 mm'.
<p>2. No aplique excesiva fuerza al micrómetro.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• No lo deje caer y evite que reciba golpes.</li><li>• No gire el micrómetro violentamente.</li></ul>	 Two line drawings. The top one shows a micrometer falling from an open case onto a tiled floor, with motion lines and a starburst indicating impact. The bottom one shows a hand turning the thimble of a micrometer with excessive force, indicated by curved arrows and motion lines.

3.

Elimine el polvo que haya sobre el micrómetro antes de usarlo.

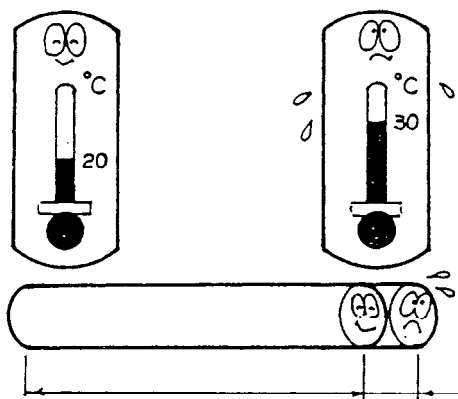
- Limpie todo el husillo y las caras de medición. Use sólo papel o trapo libre de pelusas.



4.

Deje el micrómetro y la pieza por medir en un cuarto el tiempo suficiente para estabilizar la temperatura.

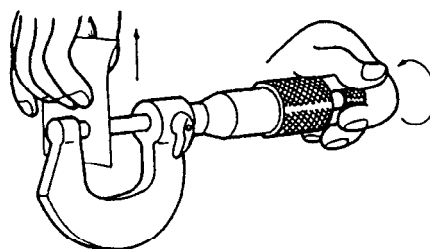
- Una barra de hierro de longitud (100 mm) cambiará 0.012 mm (12  $\mu$ m) con un cambio de temperatura de 10°C.



5.

Antes de usar, el micrómetro, limpie las caras de los topes fijo y del husillo.

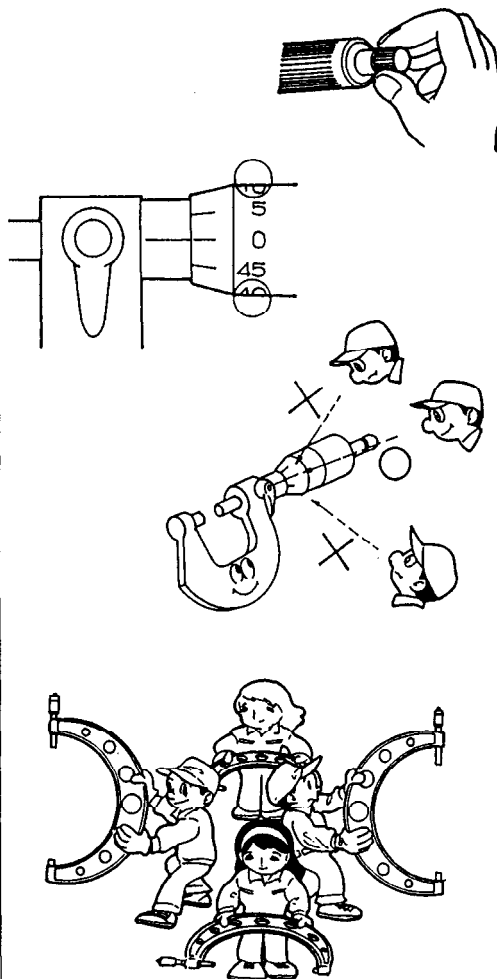
- Use sólo papel o trapo sin pelusa para limpiar las caras de medición.



6.

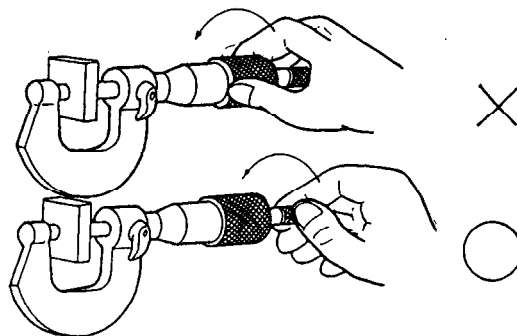
Ajuste las líneas a cero.

- Haga que se junten las caras de medición usando sólo la perilla con trinquete o el tambor de fricción.
- Lea las graduaciones del tambor directamente desde el frente (donde los números 10 y 40 aparecen del mismo tamaño).
- Si la línea cero sobre el tambor no se alinea con la línea índice del cilindro, gire el cilindro hasta hacer que las dos líneas coincidan.
- Cuando la longitud de medición exceda 300 mm, ajuste la línea cero con el micrómetro en la misma posición en la que estará cuando se esté midiendo.



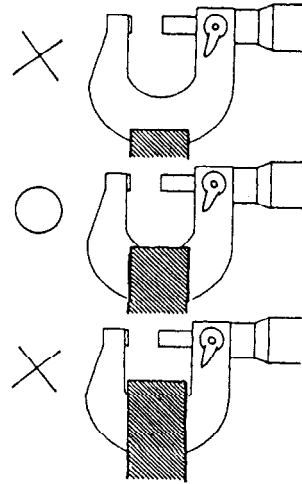
7.

Siempre use el trinquete o el tambor de fricción cuando mida.



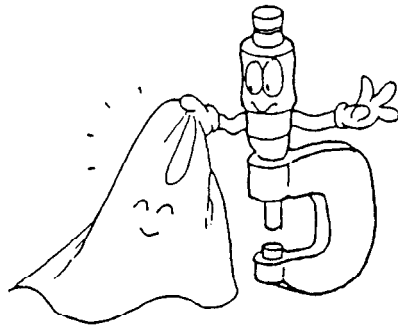
8.

Cuando monte el micrómetro sobre un soporte, asegúrese de que el cuerpo del micrómetro esté sujeto al centro y que la sujeción no haya sido muy fuerte.



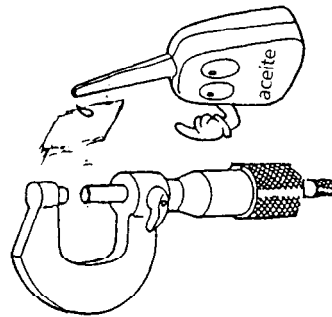
9.

Después de usar un micrómetro limpie la grasa y las huellas digitales que tenga con un trapo suave y seco.



10.

Cuando se almacene el micrómetro por largos periodos o necesite lubricación, use un trapo humedecido con líquido que prevenga la oxidación para embarrar ligeramente cada sección (excepto la sección de carburo de tungsteno) del micrómetro. Asegúrese de que el aceite esté repartido uniformemente sobre las diferentes partes.

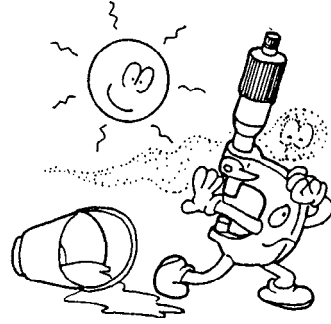




11.

Los siguientes puntos deberán considerarse cuando se almacenen micrómetros.

- No exponga el micrómetro a la luz solar directa. Almacene el micrómetro en un ambiente bien ventilado de baja humedad. Guarde el micrómetro en un ambiente libre de polvo. No coloque el micrómetro directamente en el piso. Deje las caras de medición separadas entre 0.1 a 1.00 mm (.004" – .040"). No bloquee el movimiento del husillo con el freno. Guarde el micrómetro en su estuche.



## INDICADORES DE CARÁTULA

## Introducción

Los indicadores de carátula son instrumentos ampliamente utilizados para realizar mediciones; en ellos un pequeño desplazamiento del husillo es amplificado mediante un tren de engranes para mover en forma angular una aguja indicadora sobre la carátula del dispositivo (véase Fig. 10.1); la aguja girará desde una hasta varias docenas de vueltas, lo que depende del tipo de indicador. Es fácil leer el desplazamiento amplificado en la carátula, lo cual hace que este instrumento sea útil para mediciones diversas.

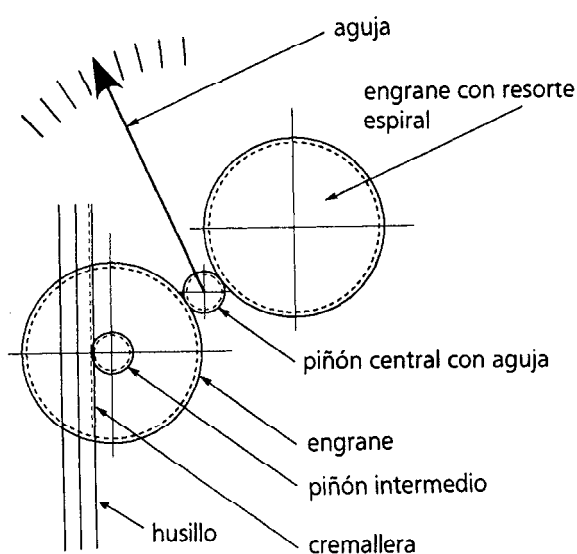


Figura 10.1. Mecanismo de amplificación de los indicadores (actuales).

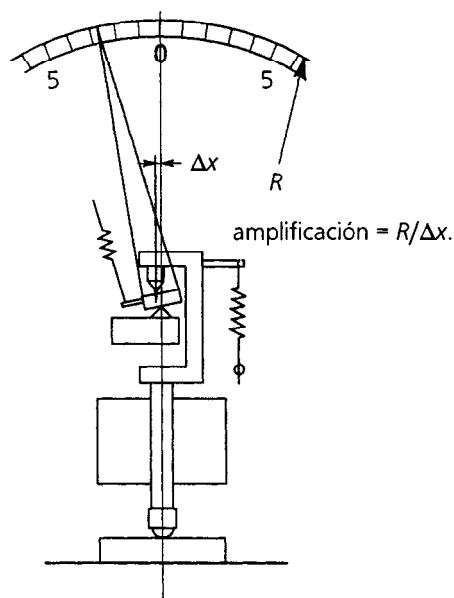


Figura 10.2. Mecanismo de amplificación con una sola palanca (primeros indicadores).

En los primeros indicadores de carátula, utilizados en la industria como instrumentos de medición desde principios del siglo XIX, la amplificación del desplazamiento se logró mediante una palanca. El mínimetro de Hirth, fabricado en 1907, fue el primer indicador cuyas partes fueron semejantes a las que conforman los actuales indicadores de carátula. Este instrumento tenía una estructura bastante simple: incluía únicamente una palanca y sólo una etapa de amplificación (Fig. 10.2).

La construcción en los primeros indicadores no permitía un gran rango de medición (únicamente  $\pm 20$  graduaciones en la carátula) y requerían intervalos desiguales de las graduaciones. La principal limitación era que el rango estaba muy restringido cuando el indicador tenía una gran amplificación.

Con el fin de superar estas dificultades la compañía Krupp elaboró un indicador de carátula con dos agujas. Las compañías Fortuna y Krupp construyeron, llamándolos *minimeter* y *microtest*, respectivamente, indicadores de carátula que tenían un mecanismo de palanca múltiple para lograr dos etapas de amplificación con una combinación de palancas y engranes.

Desde entonces varios cambios y mejoras han sido hechos e incorporados a los indicadores de carátula, lo que ha conducido a los actuales indicadores de carátula y a los indicadores digitales.

### Construcción básica de los indicadores de carátula

La figura 10.3 muestra un corte seccional de un indicador de carátula con resolución de 0.001 mm, mientras que la figura 10.4 es un diagrama del modo de operación.

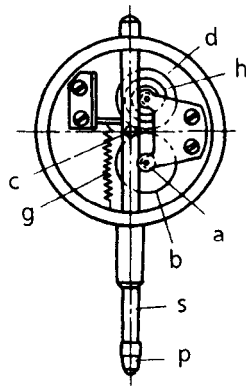


Figura 10.3.

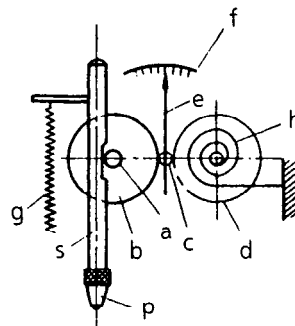


Figura 10.4.

El movimiento lineal del husillo, el cual tiene una punta de contacto (*p*) en su extremo, es transmitido a un piñón (*a*) concéntrico con un engrane (*b*) por medio de una cremallera hecha sobre el husillo, lo que lo amplifica y transmite al engrane concéntrico (*c*) con la aguja (*e*) para mostrar finalmente el desplazamiento en la carátula (*f*). En esta estructura hay algún juego en el ensamble entre el piñón intermedio y la cremallera, así como entre el engrane y el piñón central, con el objeto de eliminar el juego. El piñón central está ensamblado con otro engrane (*d*) con el cual se mantiene en contacto debido a la fuerza del resorte espiral (*h*).

$$\text{RESOLUCIÓN} = \frac{\text{paso de la cremallera} \times \text{número de dientes del piñón (a)} \times \text{número de dientes del piñón (c)}}{\text{número de dientes del engrane (b)} \times \text{número de graduaciones por cada revolución de la aguja}}$$

### Mecanismo de amplificación en indicadores de carátula

Los mecanismos de amplificación difieren según la cantidad de desplazamiento del husillo por revolución de la aguja, es decir, la resolución (Fig. 10.5). El mecanismo (*a*) es el tipo más popular, en él un desplazamiento de 1 mm corresponde a una revolución de la aguja, lo que da graduaciones de 0.01 mm y un rango de medición de 10 mm.

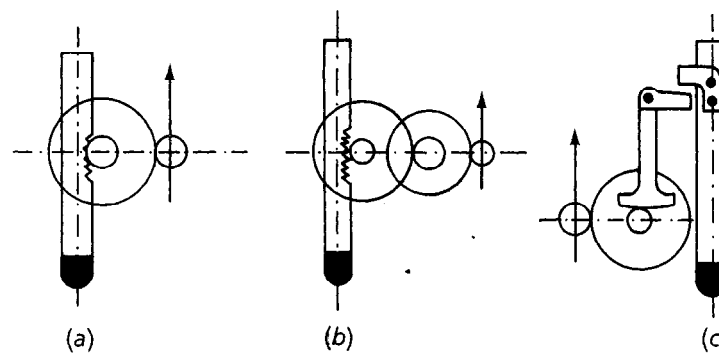


Figura 10.5.

El mecanismo (*b*) tiene una amplificación en dos etapas, mediante engranes, y se encuentra entre los indicadores que tienen un desplazamiento del husillo de 0.2 a 0.5 mm por revolución de la aguja y un rango de medición mayor. Finalmente, el mecanismo (*c*) cuenta con una palanca, además de las caracterís-

ticas descritas para el mecanismo (a). Es utilizado principalmente para lograr una mejor resolución; el desplazamiento del husillo de 0.1 a 0.2 mm corresponde a una revolución de la aguja.

La figura 10.6 muestra los componentes externos de un indicador de carátula.

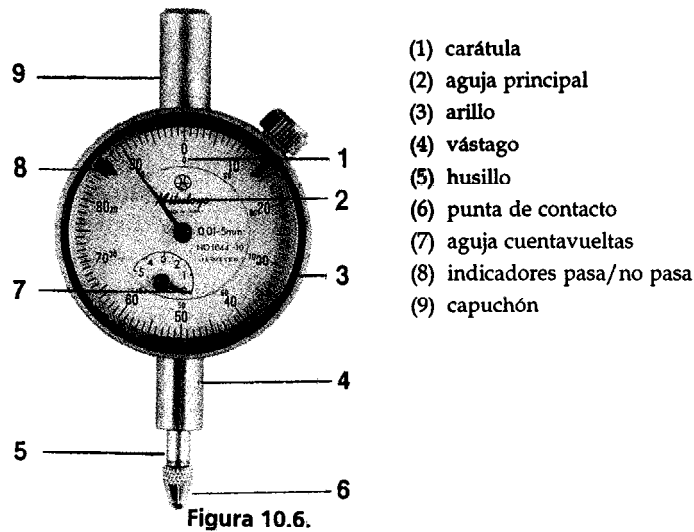


Figura 10.6.

### Medición con indicadores de carátula

Al tratar de realizar mediciones de longitud con un indicador de carátula, el usuario se percató de que éste no es un instrumento completo, ya que debe complementarse con algún dispositivo que permita sujetarlo firmemente y alinearlo en la dirección en la que se realizará la medición y, además, contar con una superficie de referencia con respecto a la cual realizar las mediciones (Fig. 10.7).

Una vez montado el indicador en un soporte adecuado y después de ajustar con el husillo la lectura cero en la carátula —ejerciendo una ligera presión contra la superficie de referencia— es posible medir piezas colocándolas entre la superficie de referencia y la punta de contacto. El rango de medición del indicador generalmente es pequeño, sobre todo cuando se lo compara con el de otros instrumentos.

La limitación del rango de medición puede superarse recurriendo a la medición por comparación, que es la aplicación más común de los indicadores. Para llevarla a cabo se procede como lo ilustra la figura 10.8 y como se describe a continuación.

- a) Se coloca el indicador en un soporte adecuado a la longitud de lo que se pretende medir.
- b) Se inserta un bloque patrón de longitud conveniente entre la superficie de referencia del soporte y la punta de contacto del indicador.
- c) Se ajusta lectura cero sobre la carátula del indicador, ya sea girando la carátula para que el cero coincida con la posición de la aguja o ajustando

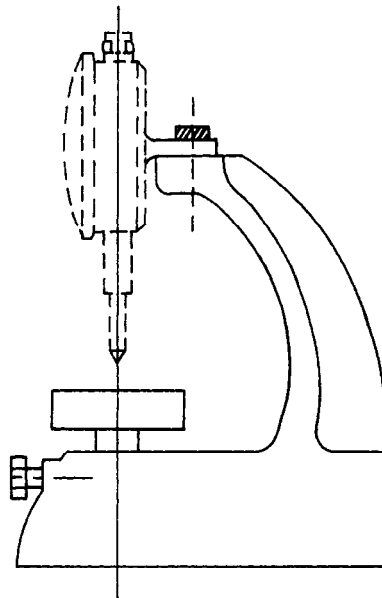


Figura 10.7.

la altura del indicador (es conveniente contar con ajuste fino). Es recomendable que el ajuste a cero se realice considerando que con la mínima dimensión esperada no se pierda el contacto entre la superficie de referencia del soporte y la punta de contacto del indicador.

- d) Se retira el bloque patrón y se inserta la pieza por medir.
- e) Se lee sobre la carátula la variación que representa cuanto es mayor o menor (depende de la dirección en que se movió la aguja) la longitud de

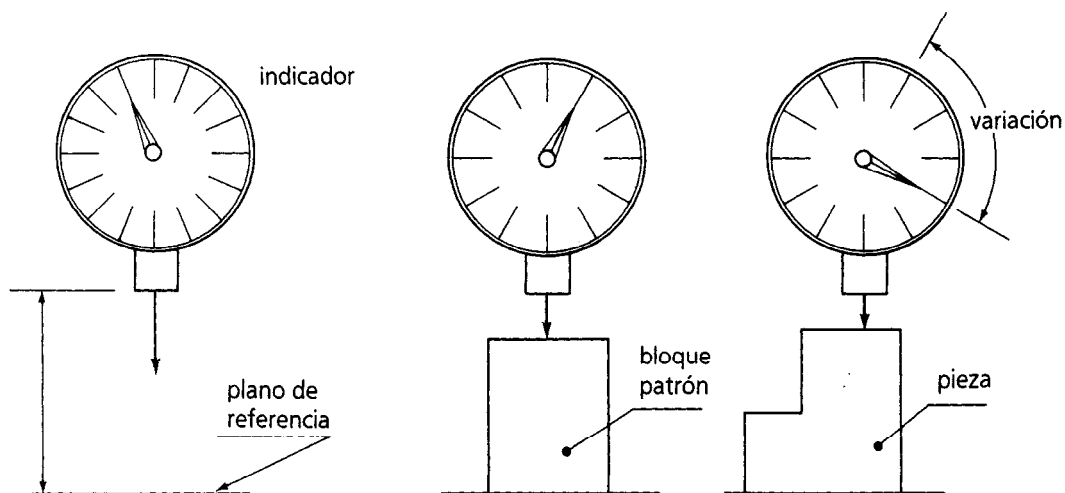


Figura 10.8.

la pieza con respecto a la altura del conjunto de bloques patrón utilizados para el ajuste del cero.

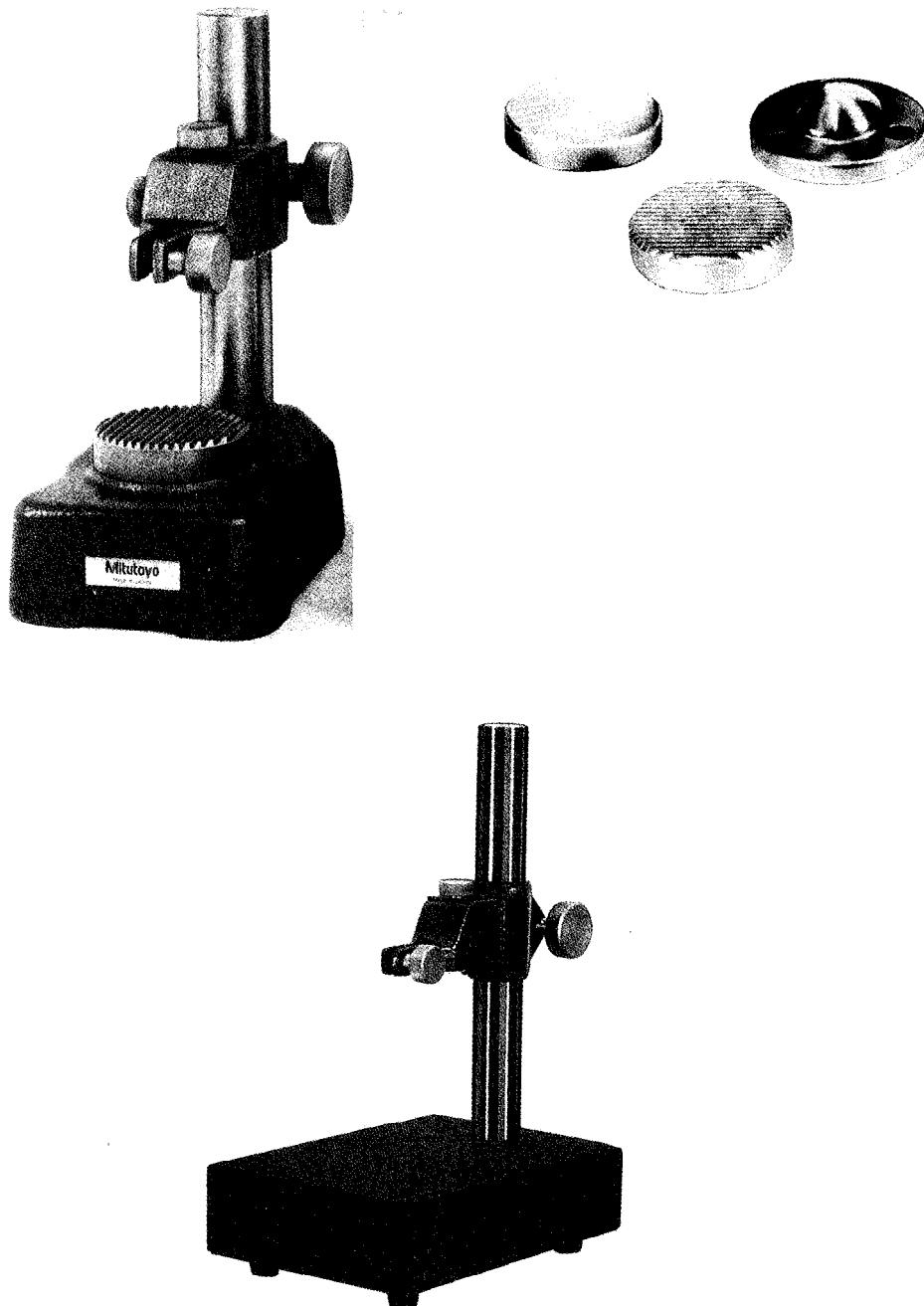


Figura 10.10.

## Soportes

Para satisfacer las diversas necesidades de medición, hay disponible en el mercado una extensa variedad de soportes. El que muestra la figura 10.9 es compacto y adaptable, útil para mediciones en el rango de 0 a 100 mm, cuenta con dispositivo para ajuste del cero en los indicadores y, dependiendo del tipo de pieza, la superficie de referencia puede ser plana, dentada o esférica y estar hecha de granito o cerámica (Fig. 10.10).

La figura 10.11 muestra un soporte con accesorios, el cual es recomendable para mediciones de gran exactitud dentro de salas de medición.

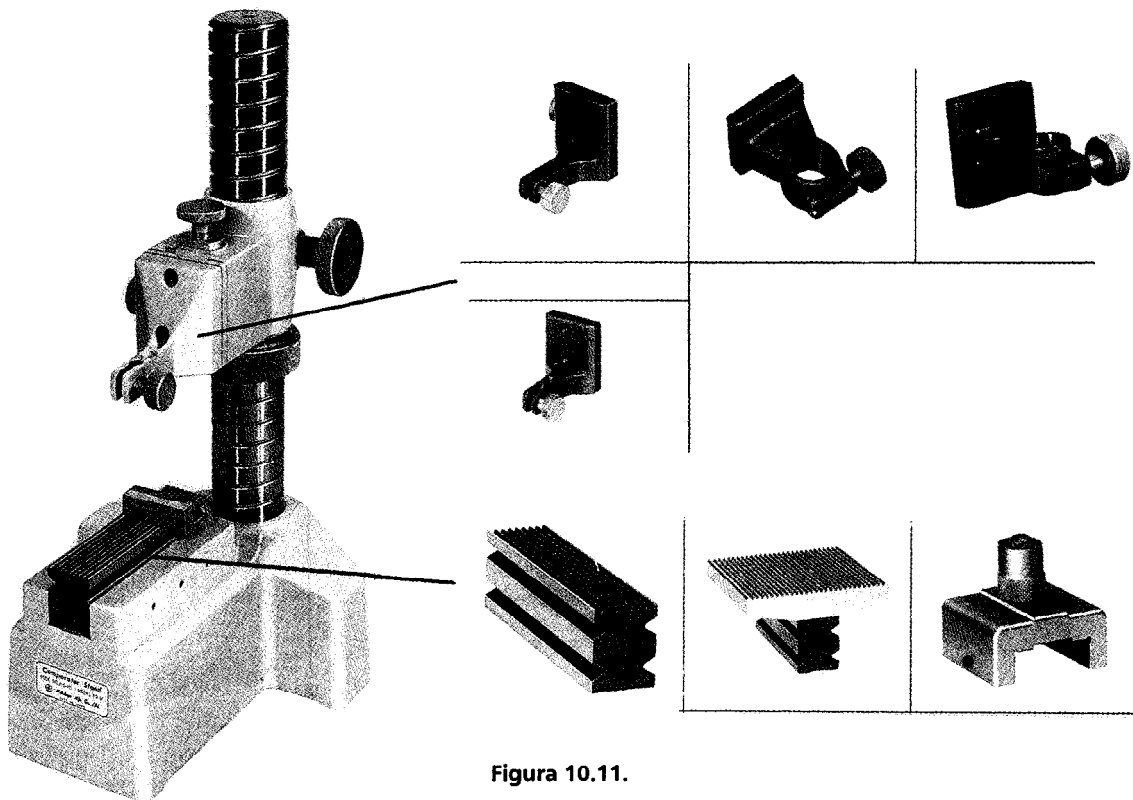


Figura 10.11.

La figura 10.12 muestra soportes de transferencia para piezas de mayor tamaño (hasta 300 mm); son útiles cuando se combinan con indicadores de carátula tipo palanca o comparador electrónico. El soporte de la derecha tiene una superficie de referencia, pero cuando se coloca sobre una mesa de granito puede moverse sobre ésta, lo que incrementa el rango de medición a 450 mm; el de la izquierda tiene una construcción más fuerte y es utilizado para medir piezas grandes con gran exactitud, generalmente dentro de salas de medición.



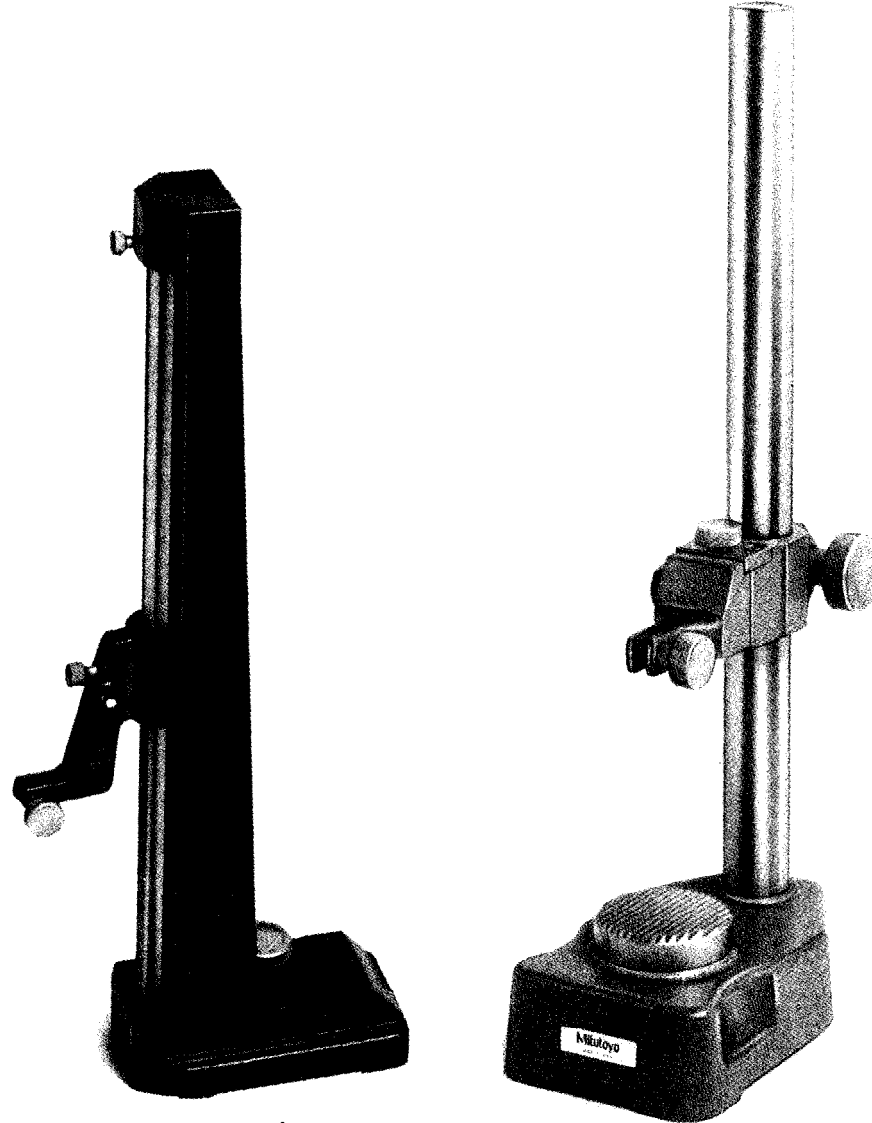


Figura 10.12.

La figura 10.13 ilustra diversos tipos de soporte con base magnética; son útiles para una variedad de aplicaciones en trabajos de maquinado o mantenimiento, por ejemplo: centrado, alineado, etcétera. Como puede observarse, algunos cuentan con ajuste fino, en otro la barra soporte es flexible y en otro más articulada y en uno de ellos está montada sobre una rótula.

El término movimiento total del indicador (FIM), denominado antes lectura total del indicador (TIR), se emplea en algunas aplicaciones en que se efectúan mediciones con indicadores y su valor se determina considerando el desplazamiento total de la aguja indicadora (después de haber fijado arbitrariamente el cero en el indicador); por ejemplo, al verificar el cabeceo circular (*circular runout*) de un cuerpo de revolución tal como en un eje con diversos diámetros (Figs. 10.14 y 10.15).

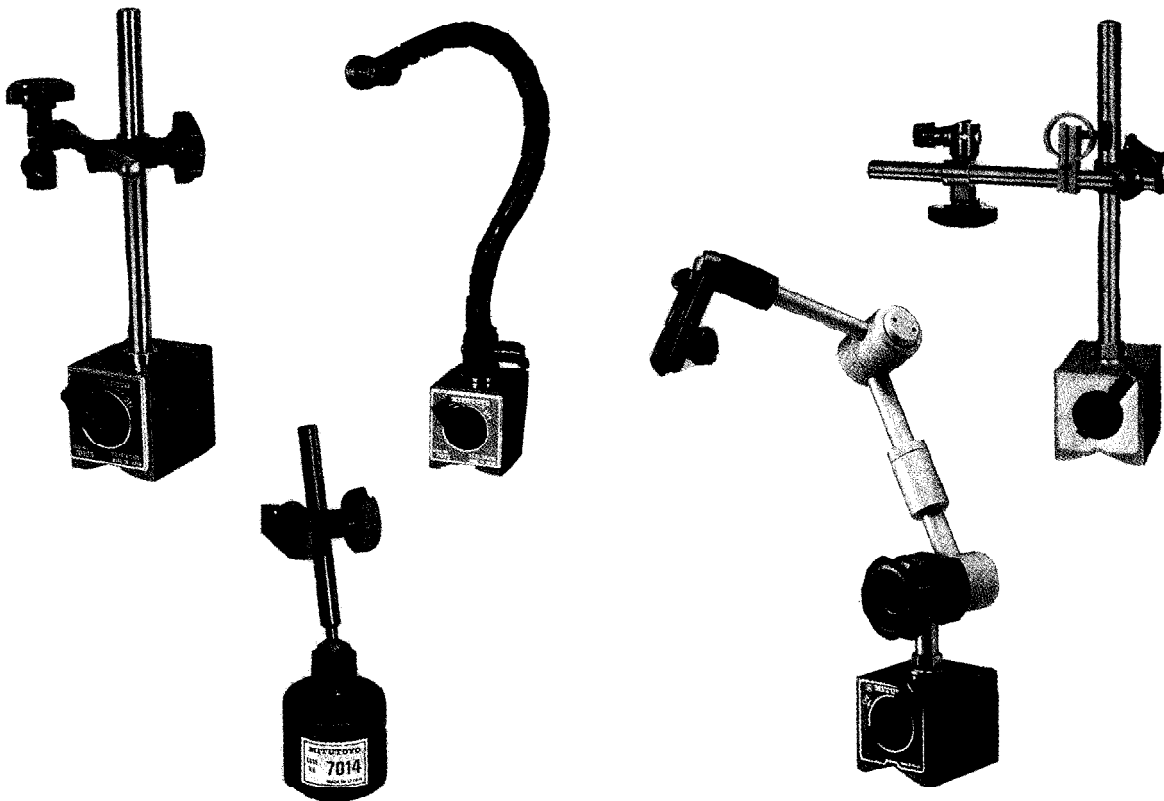


Figura 10.13.

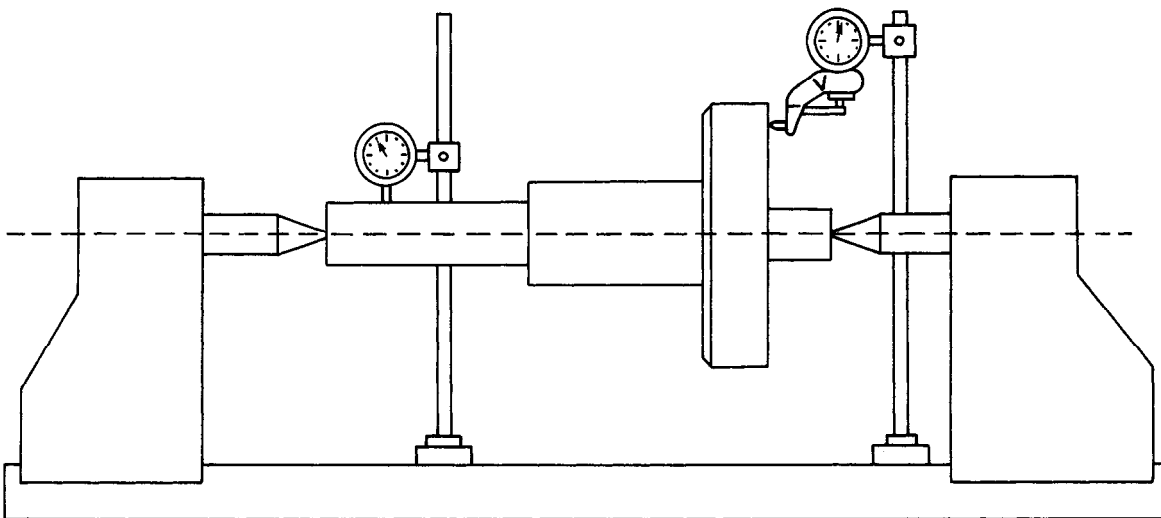


Figura 10.14.

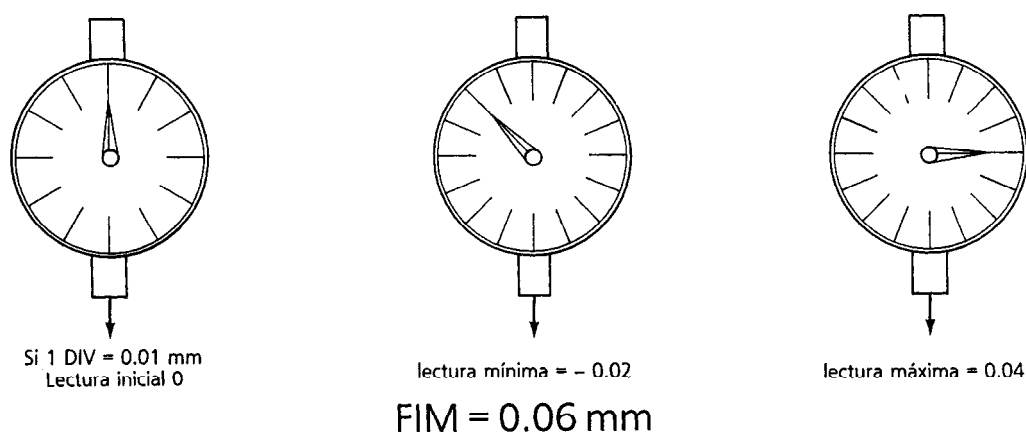


Figura 10.15.

### Vástagos y tapas

En general, un indicador de carátula se sujeta mediante un vástago (dentro del cual se desplaza el husillo) o una saliente en la tapa cuando está montado en un soporte.

La sujeción mediante la tapa es popular en Estados Unidos, mientras que la hecha con el vástago lo es en Europa. En Japón la costumbre es sujetarlo por la tapa por medio de un aditamento universal, tal como un soporte con base, y si fue diseñado y fabricado como un dispositivo para inspección en serie lo es por el vástago.

Ambos tipos tienen sus puntos fuertes y débiles; por ejemplo, la sujeción por el vástago permite ajustar el eje del indicador de carátula y perpendicularmente a la superficie medida. Además, es fácil cambiar la posición del soporte del vástago según se requiere; sin embargo, éste es una parte crucial dado que el husillo debe moverse a través de él con la mínima cantidad de fricción, por tanto debe fabricarse de modo que aun cuando esté sujeto mediante un tornillo no sufra deformación.

Esto requiere especificaciones estrictas en el acabado del vástago, por ejemplo: hecho de acero endurecido y tener un diámetro de 7.991-8.000 mm para ajustarse a las normas DIN que utilizan los países europeos.

Cuando un indicador de carátula es sujetado por la tapa, su posición de montaje la determina la oreja de ésta; las normas ANSI de Estados Unidos prevén que la distancia entre la oreja y el extremo del husillo en su posición más retraída deberá tener un valor como el que muestra la figura 10.16.

Debido a que en Estados Unidos los indicadores con frecuencia se sujetan por la tapa, hay disponibles varios tipos de tapas (véase Fig. 10.17).

Todas las dimensiones: AGD (American Gage Design)

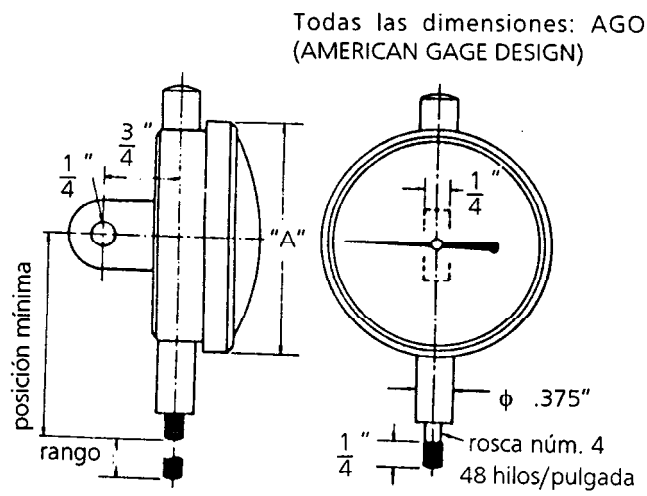


Figura 10.16.

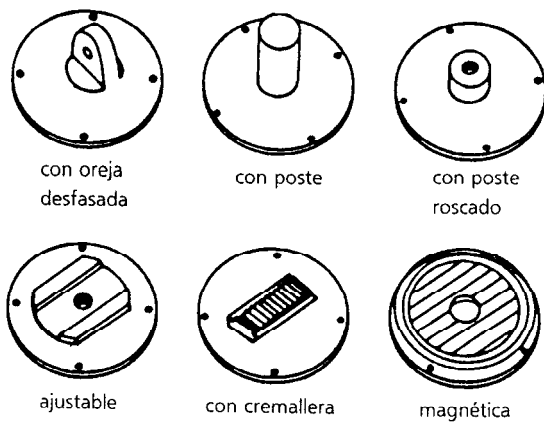


Figura 10.17.

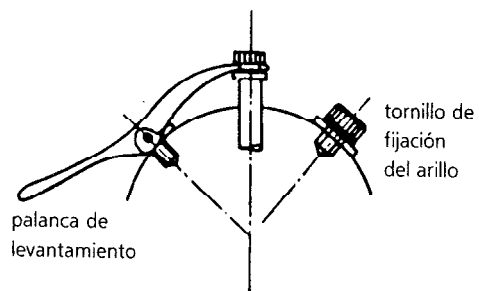


Figura 10.18.

### Palanca de levantamiento y tornillo de fijación del arillo

Para ajustar con facilidad el cero, el arillo del indicador de carátula por lo general está diseñado para que pueda girar junto con la carátula y ser sujetado apretando el tornillo de fijación del arillo. Esto asegura que la posición cero no cambiará durante la medición (Fig. 10.18).

En la parte superior del indicador de carátula puede montarse una palanca de elevación para levantar el husillo y permitir que la pieza por medir pueda insertarse fácilmente, así como para mover el husillo hacia arriba y hacia abajo varias veces y así asegurar una lectura estable (Fig. 10-18). La posición de la palanca de levantamiento y el tornillo de fijación del arillo pueden intercambiarse si se considera necesario.

### Puntas de contacto

En el mercado existen varias puntas de contacto opcionales para diferentes aplicaciones; las formas y materiales se indican en la tabla 10.1. Todas las puntas tienen rosca M 2.5 × 0.45 (l = 5 mm), aunque existen con rosca en pulgadas de acuerdo con los requerimientos de ANSI. (4-48 UNF).

**Tabla 10.1** Puntas intercambiables.

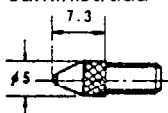
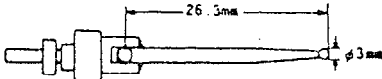
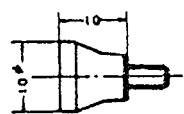
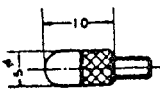
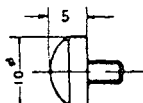
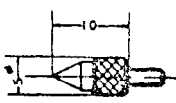
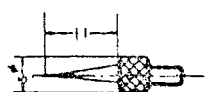
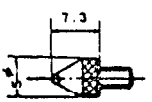
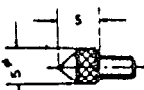
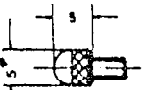
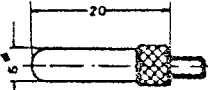
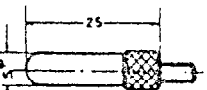

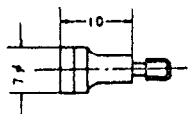
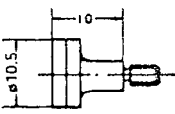
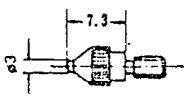
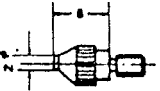
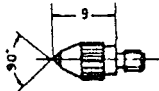
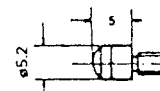
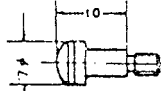
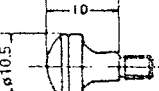
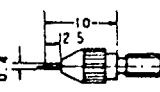
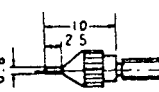
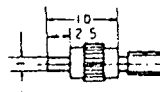
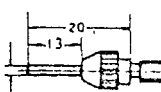
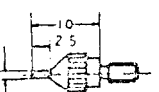
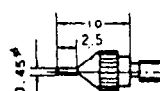
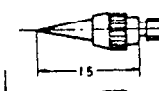
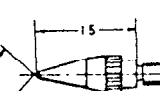
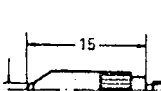
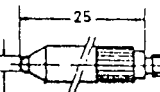
<p>punta de bola suministrada</p> 	<p>palanca punta de contacto</p> 			
 <p>plana</p>	 <p>concha</p>	 <p>esférica</p>	 <p>cónica 60°</p>	 <p>aguja</p>
 <p>punta de bola</p>	 <p>cónica 90°</p>	 <p>concha 5 mm</p>	 <p>concha 20 mm</p>	 <p>concha 25 mm</p>
 <p>plana carburo</p>	 <p>plana carburo</p>	 <p>plana carburo</p>	 <p>punta de bola</p>	<p>bola carburo</p> <p>bola de rubí</p> <p>bola de plástico</p>

Tabla 10.1 (Continuación)

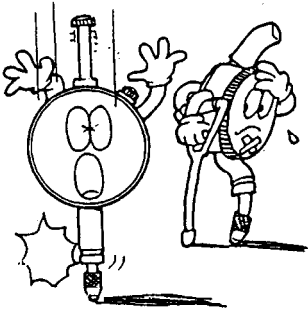
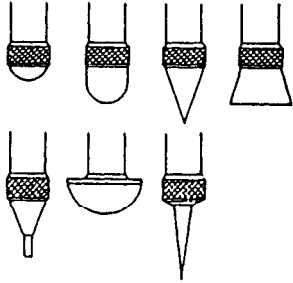
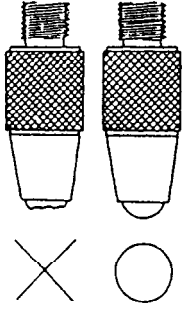
				
plana carburo	cónica carburo	esférica carburo	esférica carburo	esférica carburo
				
hoja carburo	hoja carburo	hoja carburo	aguja carburo	aguja carburo
				bola de carburo bola de rubí
aguja carburo	filo navaja carburo	cónica carburo	punta de bola	
	bola de carburo bola de rubí			
punta de bola				

### Cuidados generales al utilizar indicadores de carátula

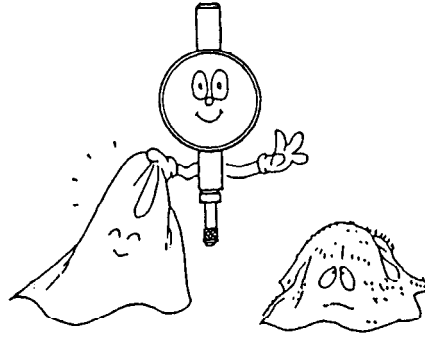
Enseguida se enumeran trece recomendaciones que deben observarse cuando se utilicen indicadores de carátula.

1. Seleccione el indicador que mejor se ajuste a su aplicación. Asegúrese de que el tipo, graduación de medición y otras especificaciones del indicador de carátula sean los apropiados para la aplicación deseada.

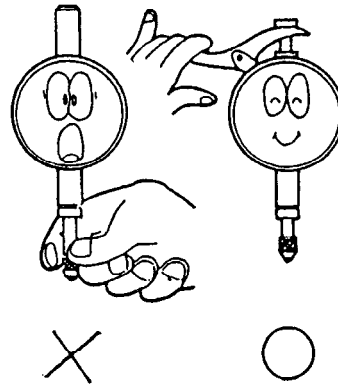


<p>2.</p> <p>No aplique fuerza excesiva al indicador de carátula.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No deje caer ni golpee el indicador.</li> </ul>	
<p>3.</p> <p>Use la punta de contacto que mejor sirva o se ajuste a su aplicación.</p>	
<p>4.</p> <p>Reemplace las puntas de contacto gastadas.</p>	

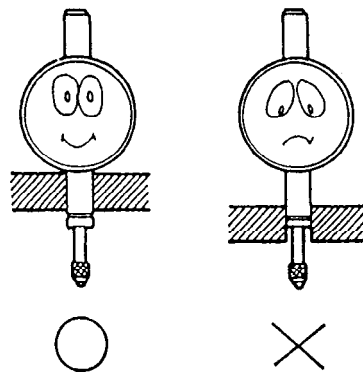
5.  
Elimine cualquier clase de polvo o suciedad antes de usar el indicador.



6.  
Use la palanca del indicador para levantar el husillo.



7.  
Cuando monte el indicador en un soporte o dispositivo, sujete el vástago tan cerca de la carátula como sea posible.



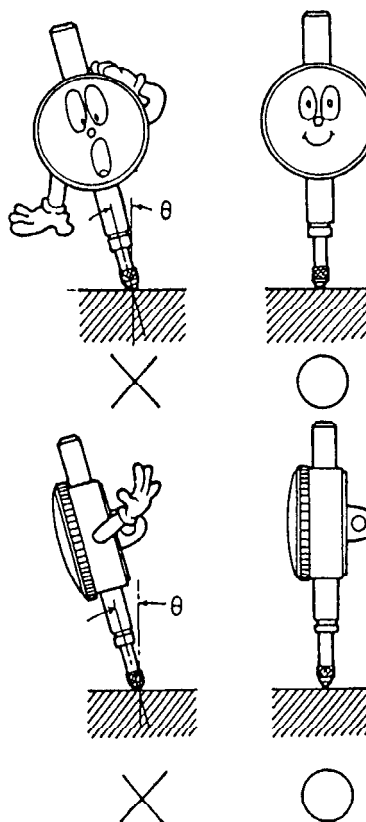


8.

Cuando monte el indicador sobre un soporte o dispositivo, posicione-lo de modo que el ángulo  $\theta$  de inclinación sea mínimo.

Ejemplo:

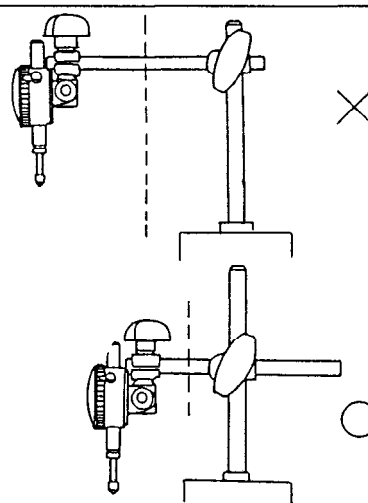
	Ángulo de inclinación $\theta$		
	0°	10°	30°
Lectura indicador $X$	0.050 mm (.002")	0.050 mm (.002")	0.050 mm (.002")
Coefficiente de corrección $\cos \theta$	1.00	0.98	0.866
Valor corregido $X \cos \theta$	0.050 mm (.002")	0.049 mm (.00196")	0.043 mm (.0017")
Error $X (1 - \cos \theta)$	0.000 mm (0")	0.001 mm (.00004")	0.007 mm (.0003")

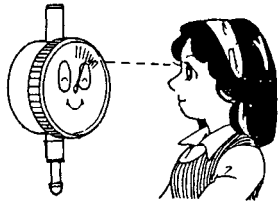
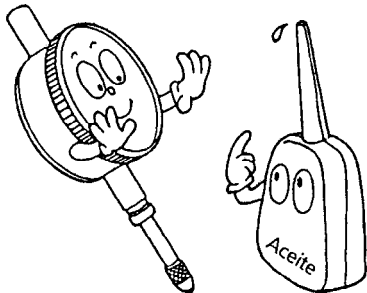
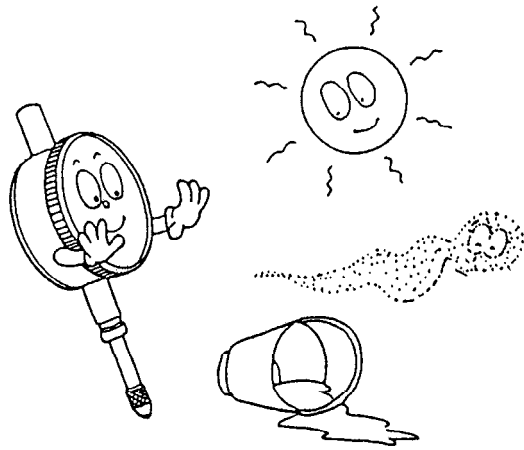


9.

Use un soporte rígido para montar el indicador y ajústelo en tal forma que el centro de gravedad quede en la base.

- Coloque el indicador de modo que la distancia entre éste y la columna sea mínima.
- Use un contrapeso si es necesario para que el centro de gravedad quede en la base.



<p>10. Evite errores de paralaje leyendo la carátula directamente desde el frente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor indicado = lectura de la aguja pequeña (cuenta-vueltas) + lectura de la aguja principal.</li> </ul>	
<p>11. Después de usarlo, elimine el polvo y las huellas digitales del indicador con un trapo suave y seco.</p>	
<p>12. Cuando el indicador sea almacenado por un largo periodo o cuando necesite aceite, frote ligeramente la caja y el vástago con un trapo saturado con aceite anticorrosivo. Asegúrese de que el aceite se distribuya uniformemente sobre las superficies.</p>	
<p>13. Los siguientes puntos deben considerarse cuando se almacene el indicador.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No exponga el indicador a la luz solar directa.</li> <li>• Almacene el indicador en un lugar bien ventilado y con baja humedad.</li> <li>• Almacene el indicador en un ambiente libre de polvo.</li> <li>• No coloque el indicador directamente en el piso.</li> <li>• Almacene el indicador en su estuche o en una bolsa de plástico.</li> </ul>	

### Aplicaciones especiales de los indicadores de carátula

Como los indicadores de carátula no pueden utilizarse hasta no montarlos en un dispositivo adecuado, han sido integrados en dispositivos especiales de uso común.

- Medidor de espesores con indicador de carátula (el tipo pequeño se denomina medidor de bolsillo, véanse Figs. 10.19 y 10.20).
- Medidor de exteriores con indicador de carátula (Fig. 10.21).
- Medidor de profundidades con indicador de carátula (Fig. 10.22).

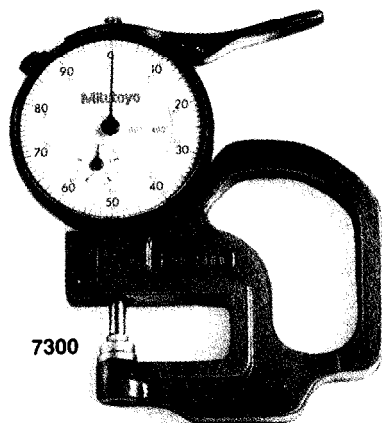


Figura 10.19.

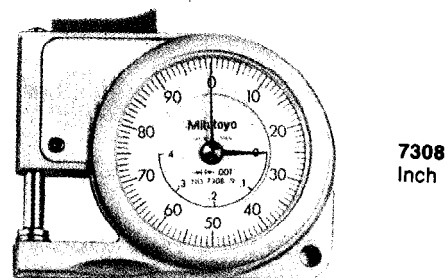


Figura 10.20.

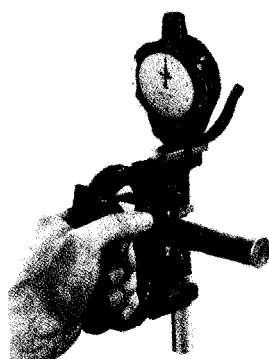


Figura 10.21.

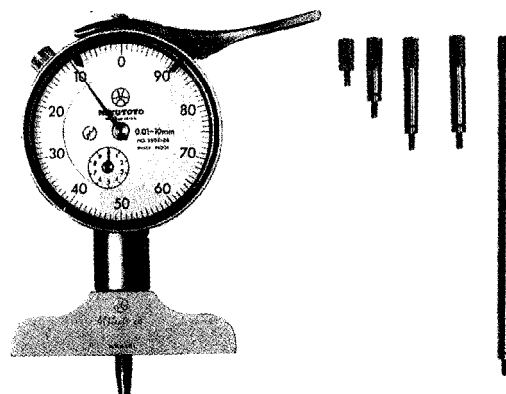


Figura 10.22.

Los medidores de espesores funcionan al insertar la pieza entre la punta de contacto del husillo y el yunque que está fijo al marco, hay dos tipos, uno que tiene un indicador sujeto al marco (Fig. 10.19) y otro que incorpora un indicador

en el arco (Fig. 10.20). El primero tiene graduaciones estándar de 0.01 y, opcionalmente, de 0.001 mm.

El medidor de exteriores se utiliza para medir el diámetro de un cilindro que está montado sobre una máquina herramienta. El diámetro que puede medirse con estos medidores es de hasta 300 mm en 12 pasos; cuenta con un apoyo para la pieza y se usa principalmente en el control dimensional de piezas rectificadas.

El medidor de profundidades se utiliza para medir la profundidad de agujeros que no son pasados y la profundidad de ranuras angostas o alturas escalonadas; también puede medir profundidades de hasta 200 mm utilizando diversas longitudes de barras de extensión.

### **Indicadores de carátula de una vuelta**

En la línea de producción, un error en la lectura por una vuelta de la aguja sobre un indicador estándar de carátula —en los que la aguja gira más de una vuelta— causaría serios problemas. Con el fin de evitar esto, la carátula de este tipo de indicadores tiene una zona de color rojo que está separada de la sección graduada para mostrar que la aguja en esta zona no tiene ningún significado (Fig. 10.23).

### **Indicadores a prueba de agua**

Los indicadores de carátula no ocasionan problemas cuando son utilizados en un ambiente seco, como una sala de medición o sección de ensamble, pero si se usan en lugares en donde están en contacto con aceite, agua o gas corrosivo pueden sufrir daños.

En lo que respecta al aceite de corte o soluble, no ocurren problemas en la operación del indicador de carátula aunque esté sometido a frecuentes salpicaduras de aceite, mientras éste no se solidifique y se adhiera al indicador.

Si el indicador de carátula está expuesto al agua refrigerante utilizada para rectificado, tendrá que ser completamente a prueba de agua.

Conforme el husillo sube y baja tiende a meter gotas de agua al indicador. Por lo tanto, deben tomarse algunas medidas para cubrir el hueco entre el husillo y el vástago sellando la estructura interna (Fig. 10.24). La cubierta de hule es lo suficientemente delgada para que el husillo se mueva con libertad, sin resistencia, pero es difícil preservar hule delgado que combine excelente resistencia al aceite y durabilidad; por tanto, la cubierta de hule deberá cambiarse dos veces por año, dependiendo de las condiciones de operación.

### **Indicadores de carátula con vástago posterior**

En este tipo de indicadores la carátula es perpendicular al eje del husillo (Fig. 10.25), además es útil en aplicaciones en que se dificulte o imposibilite la lectura sobre la carátula de un indicador estándar.

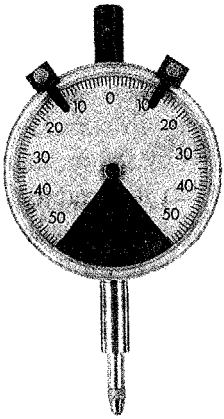


Figura 10.23.

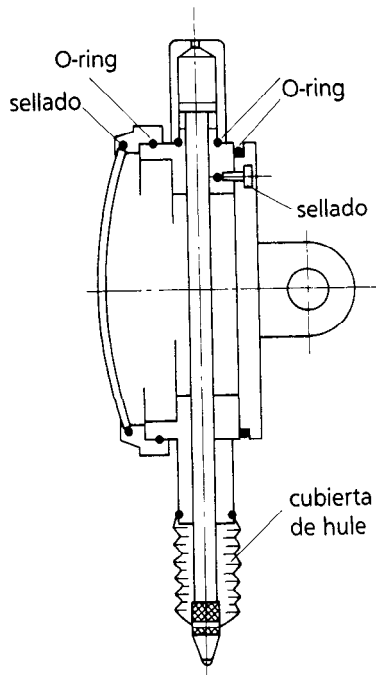


Figura 10.24.

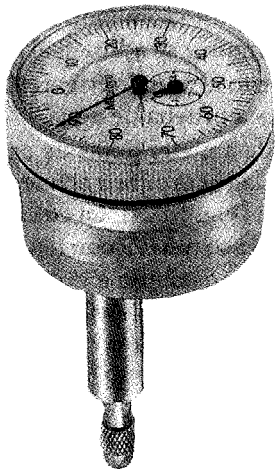


Figura 10.25.

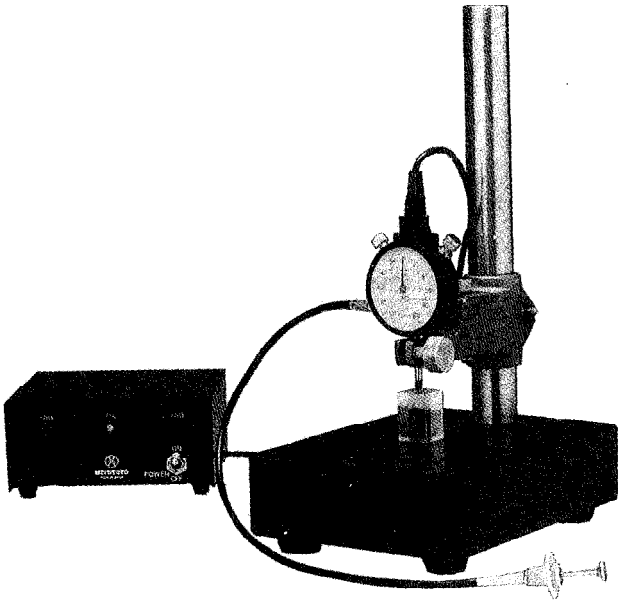


Figura 10.26.

### Microindicadores

Entre los diferentes tipos de indicadores, los que satisfacen las especificaciones de la norma JIS B 7519-1976 con graduaciones de  $1\text{ }\mu\text{m}$  o menos se denominan microindicadores (en sistema inglés graduaciones de .0001" o menos). Éstos se muestran en la figura 10.26, la que también muestra un modelo con caja señalizadora pasa/no pasa para mediciones comparativas y de gran exactitud.

Otra aplicación de los indicadores de carátula es en la construcción de dispositivos de inspección diseñados para satisfacer necesidades específicas de medición simultánea de características múltiples en piezas cuyo volumen de producción es elevado (Fig. 10.27).

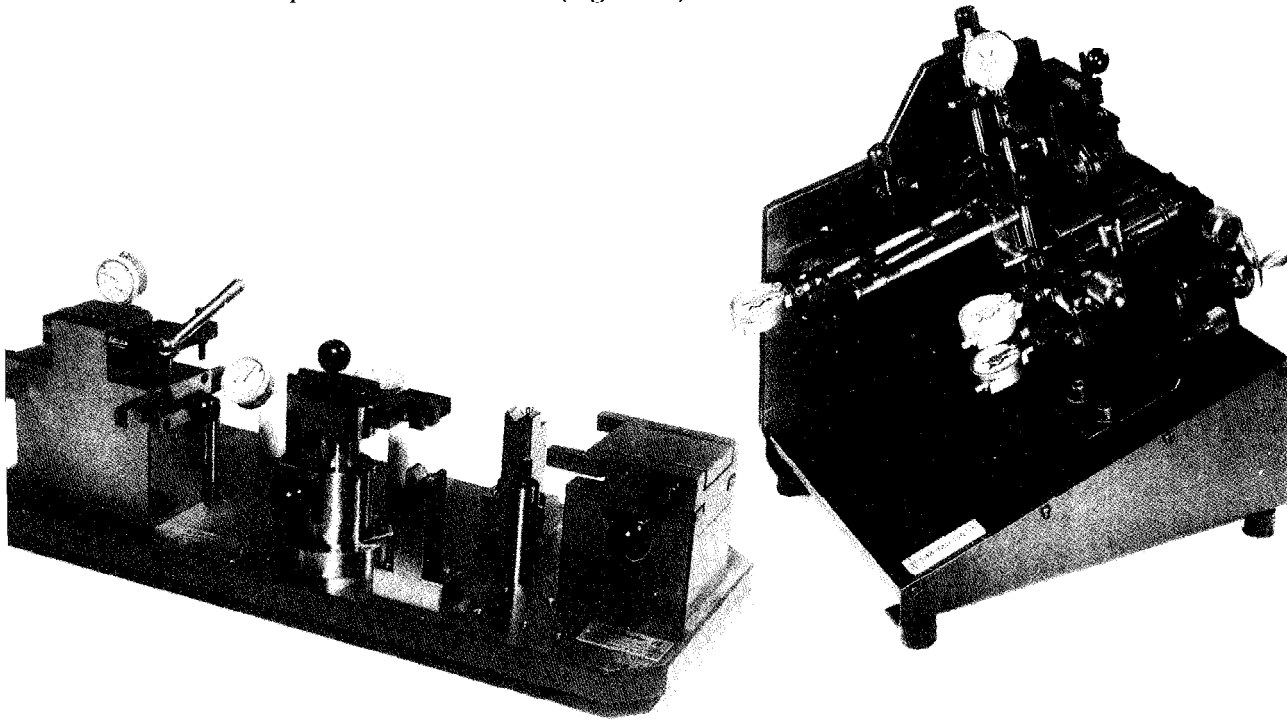


Figura 10.27.

### MEDIDORES DE AGUJEROS CON INDICADOR DE CARÁTULA

La medición de agujeros es una de las aplicaciones usuales del indicador de carátula. Un medidor de agujeros con indicador de carátula (en lo sucesivo medidor de agujeros) es muy fácil de manejar y es útil para medir agujeros de una misma dimensión específica. Algunos medidores de agujeros pueden medir diámetros de agujeros profundos con la ayuda de una barra de extensión.

Los medidores de agujeros se dividen en dos tipos, lo que depende del tipo de cambio de dirección del desplazamiento de las puntas de contacto: (1) tipo leva y (2) tipo cono.

En la clasificación de estos dispositivos se aplican las siguientes definiciones, dadas en la norma JIS B 7515-1982:

1. El medidor de agujeros con indicador de carátula es un instrumento en el cual el desplazamiento de una punta se transmite mecánicamente, en dirección perpendicular a su desplazamiento, a un indicador de carátula integrado donde es posible leerlo.
2. El rango efectivo de medición es el rango operativo de la punta dentro del cual se garantiza el desempeño del medidor de agujeros. En general, es el rango cuyo origen es la posición en la cual la punta está presionada 0.1 mm y cuyo fin es cuando la punta está presionada 1.2 mm más.

### Tipo y construcción

En los medidores de agujeros el desplazamiento de la punta se transmite en ángulo recto, por tanto, hay disponibles, en el mercado, levas de varias formas, como lo muestra la figura 10.28.

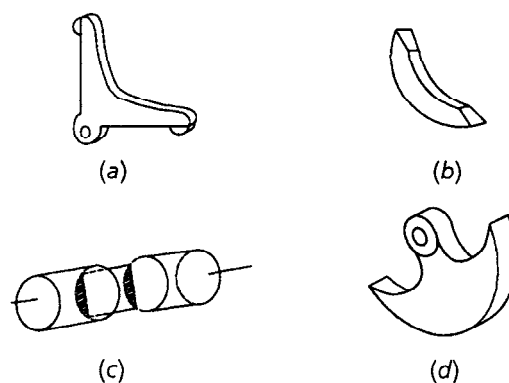


Figura 10.28. Tipos de levas.

Las figuras 10.29 y 10.30 muestran construcciones que utilizan las formas *a* y *c* de la figura 10.28, respectivamente.

### Medidor de agujeros grandes ( $\phi 18$ a $\phi 400$ mm)

La figura 10.29 muestra la vista externa y el nombre de los componentes de un medidor de agujeros grandes.

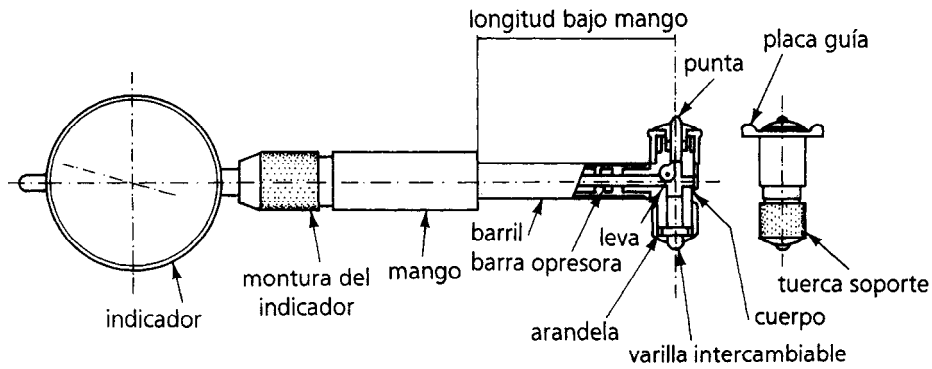


Figura 10.29.

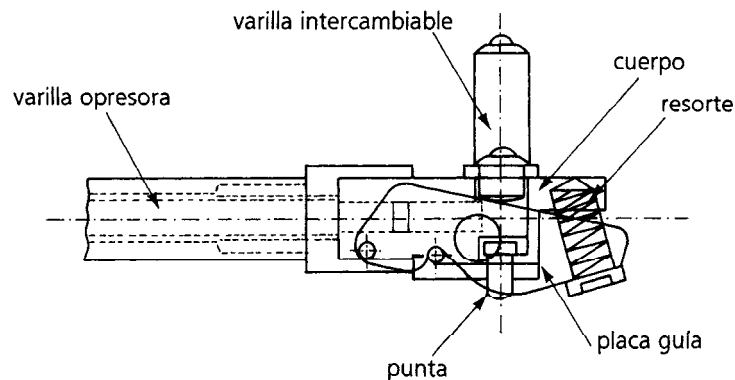


Figura 10.30.

La norma JIS correspondiente especifica que el rango de desplazamiento de la punta deberá ser mayor que 1.4 mm; por lo tanto, después de restar un margen de 0.1 mm en cada extremo, el rango de medición efectivo será de 1.2 mm. La exactitud de la medición se garantiza dentro de este rango efectivo de medición.

Con el objeto de fijar un rango de medición del medidor de agujeros acorde con el diámetro que pretende medirse, se utiliza la combinación de una varilla intercambiable y un determinado número de rondanas (arandelas); la primera es útil para lograr un ajuste aproximado al diámetro deseado y las segundas para el ajuste fino. Es preciso seleccionar una varilla intercambiable apropiada para que la dimensión por medir quede cerca del centro del rango efectivo de medición.

Por otro lado, los espesores de las rondanas intercambiables sólo difieren 0.5 mm. Cuando una varilla intercambiable se coloca en posición, la punta queda 0.7 mm mayor que la dimensión deseada (véase la tabla 10.2).



**Tabla 10.2.** Especificaciones para cambiar el rango de medición de 18 a 400 mm. Unidad: mm

Rango de medición	Varillas intercambiables		Arandelas intercambiables		Profundidad medida	Comentario
18-35	18,20,22-34	9 piezas	0.5,1	2 piezas	100 (500)	
35-60	35,40,45-60	6 piezas	0.5,1,2,3	4 piezas	150 (1000)	
50-100	50,55,60-100	11 piezas	0.5,1,2,3	4 piezas	150 (1000)	
50-150	50,55,60-100	11 piezas	0.5,1,2,3	4 piezas	150 (1000)	a
100-160	100,105,110-160	13 piezas	0.5,1,2,3	4 piezas	150 (1000)	
160-250	160,175,190-235	6 piezas	0.5,1,2-6	4 piezas	250 (1000)	
250-400	250,265,280-310	5 piezas	0.5,1,2-6	7 piezas	250 (1000)	b

<sup>a</sup> El medidor de agujeros de 50-150 mm de rango se suministra con un subyunque de 50 mm, y el de 250-400 mm de rango con un subyunque de 75 mm.

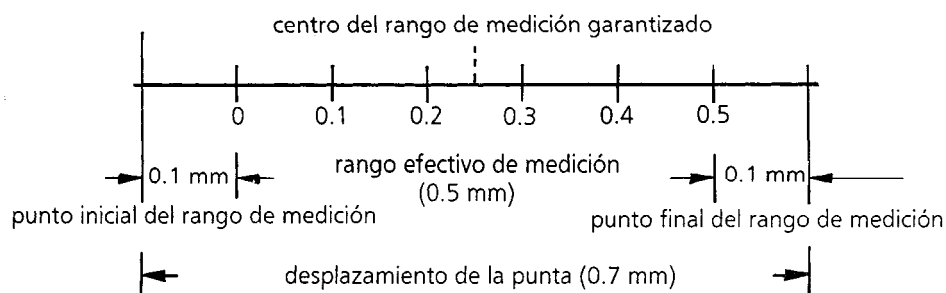
<sup>b</sup> Los números entre paréntesis en la columna de profundidad de medición muestran las dimensiones máximas cuando se usa varilla de extensión.

### Medidor de agujeros pequeños ( $\phi$ 6 a $\phi$ 18.5 mm)

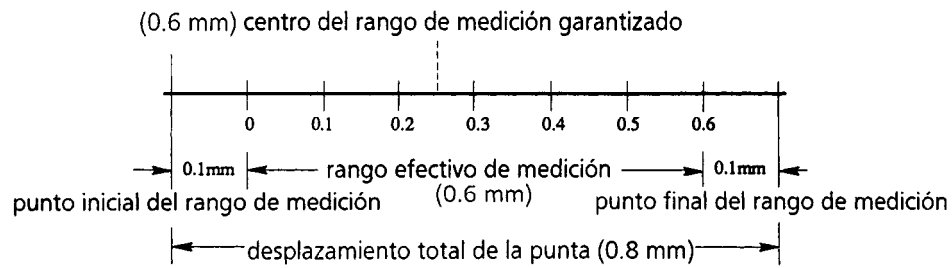
La figura 10.30 muestra la vista externa y el nombre de cada componente del medidor de agujeros pequeños, el cual se clasifica en los dos tipos siguientes, lo que depende de su rango de medición.

- a) Para rango de  $\phi$  6 a  $\phi$  10 mm
- b) Para rango de  $\phi$  10 a  $\phi$  18.5 mm

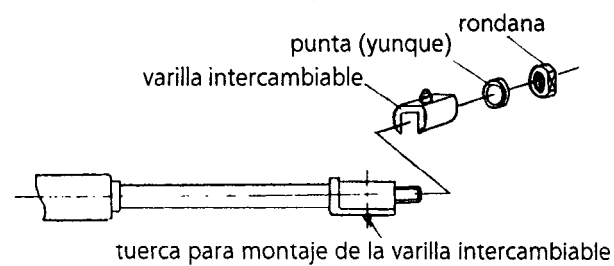
Los rangos efectivos de medición de estos dos tipos los muestran las figuras 10.31 y 10.32, respectivamente. El tipo a) tiene un rango efectivo de medición de 0.5 mm, mientras que el del tipo b) es de 0.6 mm dentro de los rangos antes descritos; la exactitud de cada medidor se garantiza cuando es necesario cambiar el rango de medición. El tipo a) utiliza únicamente una varilla intercambiable y



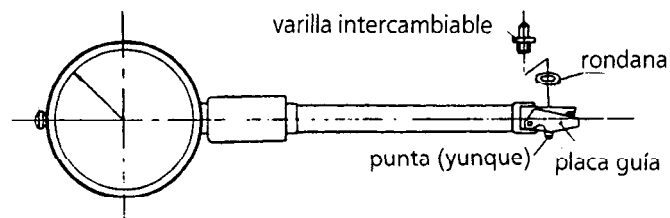
**Figura 10.31.** Rango efectivo de medición tipo (a).



**Figura 10.32.** Rango efectivo de medición del tipo (b).



**Figura 10.33.** Cambiando el rango de medición del tipo (a).



**Figura 10.34.** Cambiando el rango de medición del tipo (b).

el tipo *b*) utiliza una combinación de varilla intercambiable y rondana (véanse las Figs. 10.33 y 10.34 y la tabla 10.3).

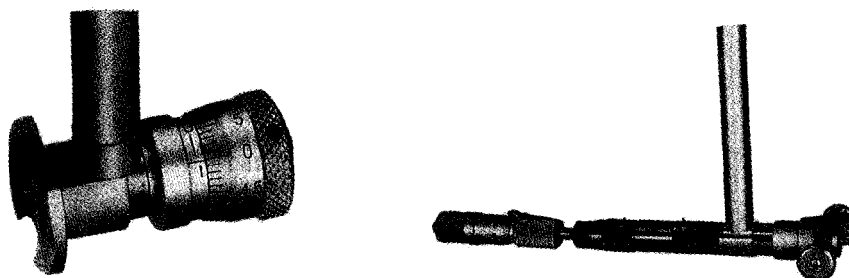
**Tabla 10.3.** Especificaciones para cambiar el rango de medición desde 6 hasta 18.5 mm. Unidad: mm

Rango de medición	Varilla intercambiable		Arandelas intercambiables		Profundidad medida	Accesorios estándar
6-10	6,6.5,7-10	9 piezas	Ninguna		47	Llave
10-18.5	10,11,12-18	9 piezas	0.5	1 pieza	100	Pinzas

### *Medidor de agujeros con cabeza micrométrica*

Por lo general, el rango de medición de un medidor de agujeros es tan limitado que debe modificarse cambiando la varilla o la rondana y ajustarse a cero cada vez que se haga alguno de estos cambios.

Con el objeto de eliminar el reemplazo de la varilla intercambiable como se describió antes, un medidor de agujeros con cabeza micrométrica utiliza ésta en lugar de aquella de modo que el rango de medición pueda alterarse dentro del rango de medición de la cabeza micrométrica. La estructura se muestra en la figura 10.35.



**Figura 10.35.** Medidores de agujeros con cabeza micrométrica.

A diferencia de los medidores de agujeros que requieren varillas intercambiables y rondanas, este medidor puede fijar una longitud de medición que exceda el rango correspondiente de la cabeza micrométrica simplemente reemplazando un subyunque. Además, cuando una dimensión de referencia se fija con un anillo patrón, la longitud de medición del mismo medidor de agujeros

puede fijarse simplemente operando la cabeza micrométrica; la tabla 10.4 muestra un ejemplo de especificaciones.

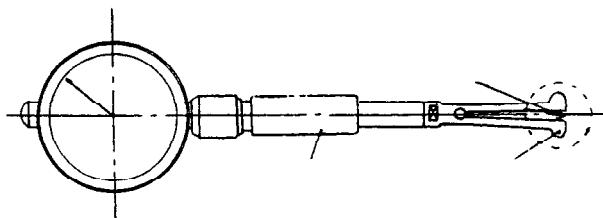
**Tabla 10.4.**

Rango de medición (mm)	Rango de cabeza micrométrica	Subyunque	Profundidad medida
36-60	5 mm	5,10,15,20	150 mm
60-100	10 mm	10,20	150 mm
100-160	13 mm	10,20	150 mm
150-250	25 mm	25,50	250 mm
250-400	50 mm	50,50	250 mm
400-600	50 mm	50,100	250 mm
600-800	50 mm	50,100	250 mm

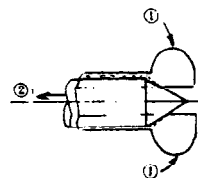
**Tipo cono de conversión ( $\phi$  0.95 a  $\phi$  18 mm)**

Este tipo de medidor de agujeros utiliza un cono para convertir el desplazamiento de la punta de contacto en la dirección perpendicular. La vista externa y el nombre de cada componente lo muestra la figura 10.36. Una vista ampliada de las puntas de contacto aparece en la figura 10.37. En dichas puntas la dirección del desplazamiento se cambia en ángulo recto mediante un cono en el extremo del perno. El movimiento de éste está limitado a un rango pequeño debido a las limitaciones de exactitud (linealidad) del movimiento circular de las puntas de contacto. Por esto está diseñado para medir pequeños diámetros interiores.

El medidor de agujeros tipo cono tiene un rango efectivo de medición dentro del cual la exactitud está garantizada y aquél varía con cada rango de medición. Para cambiar éste sólo se cambia la punta de contacto por los tipos 01, 02, 03 y 05; para el tipo 04 el perno también debe cambiarse dependiendo de si el rango es de  $\phi$  1.50 a  $\phi$  2.45 mm o de  $\phi$  2.25 a  $\phi$  4.00 mm (véase tabla 10.5).



**Figura 10.36.** Medidor de agujeros con un cono de conversión.



**Figura 10.37.** Amplificación puntos de contacto.

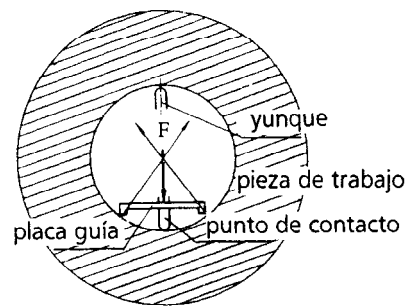
**Tabla 10.5.** Características de medidores de agujeros de  $\phi$  0.095 a 7.30 mm y de 7 a 18 mm.

Rango de medición, mm	Puntos contacto intercambiables tipo	Rango de medición, mm	Número de puntas	Anillo de patrón, mm	Otros accesorios suministrados
0.95-1.55	05	0.95-1.05 1.07-1.25 1.17-1.35 1.27-1.45 1.37-1.55	1	1.0 1.1 1.2 1.3 1.4	Llave (1 pza.) Juego de cubiertas de protección de carátulas
1.50-4.00	04	1.50-1.90 1.80-2.20 2.02-2.45	1	1.75 2.00 2.25	Llave (1 pza.)
		2.25-2.75 2.50-3.00 2.75-3.25 3.00-3.50 3.25-3.75 3.50-4.00	1	2.50 2.75 3.00 3.25 3.50 3.75	Juego de cubiertas de protección de carátula
3.70-7.30	03	3.70-4.30 4.20-4.80 4.70-5.30 5.20-5.80 5.70-6.30 6.20-6.80 6.70-7.30	1	4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0	Llave (1 pza.) Juego de cubiertas de protección de carátulas
7-10	02	incrementos de 0.5 mm	1	—	igual que arriba
10-18	01	incrementos de 1.0 mm	1	—	igual que arriba

### *Efecto de la placa guía*

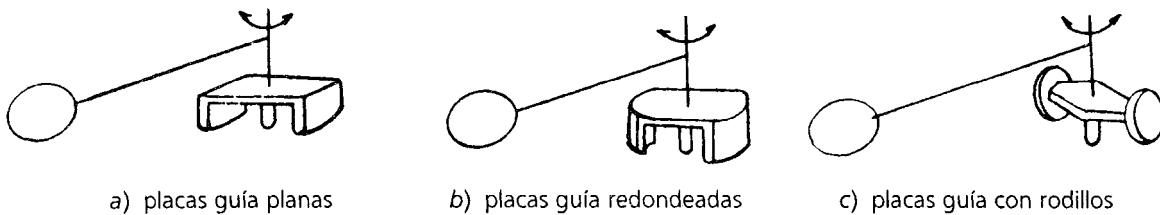
Todos los medidores de agujeros, excepto los de tipo cono para agujeros pequeños, están equipados con una placa guía en el lado en que está la punta de contacto. Como puede apreciarse en la figura 10.38, esta placa guía la empuja en dirección  $F$  un resorte y también el yunque se mantiene contra la superficie interior de la pieza. Dado que  $F$  actúa sobre el centro de la placa guía, las líneas de reacción de ésta siempre pasan a través del centro del agujero.

Por lo tanto, la punta de contacto en el centro de la placa guía y el yunque en la posición opuesta sobre la línea central hacen contacto sobre la distancia máxima de la superficie interior (esto es, el diámetro). La fuerza  $F$  sobre la placa guía y las reacciones, ambas sobre la placa guía y el yunque, siempre centran éste y la punta de contacto a través del diámetro del círculo interior.



**Figura 10.38.** Efecto de la placa guía.

Las placas guía son de tres tipos diferentes: *a)* planas, *b)* redondeadas y *c)* con rodillos (Fig. 10.39).



**Figura 10.39.**

- a) Guía plana.* Ésta es una placa estándar que conforma con JIS. Al realizar mediciones el eje del agujero deberá quedar paralelo al del cuerpo del medidor de agujeros.
- b) Guía redondeada.* Cuando el medidor de agujeros se inserta en un agujero, el eje del cilindro no tiene que quedar paralelo al del cuerpo del medidor.
- c) Guía con rodillos.* Además de tener la misma característica que *b)*, permite insertar suavemente el medidor de agujeros en un agujero, asegurando así indicaciones estables.

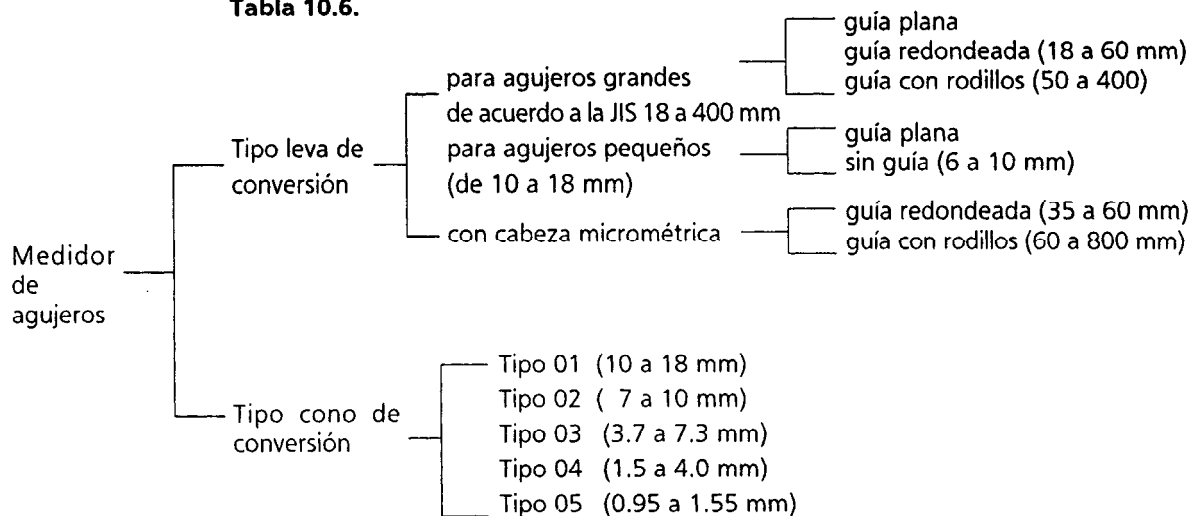
Estos medidores de agujeros se resumen, de acuerdo con su estructura, en la tabla 10.6.

### **Recomendaciones para el uso de los medidores de agujeros**

Como los medidores de agujeros son instrumentos para mediciones por comparación, verificar el punto cero o ajuste de la dimensión de referencia es necesario antes de la medición en cualesquiera condiciones de operación diferentes a las normalizadas industrialmente. Debido a cambios en la temperatura durante la

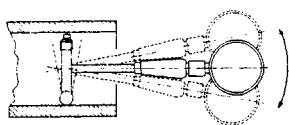
operación el punto cero puede desviarse, por lo tanto, éste debe confirmarse otra vez al final de la medición para revisar las mediciones obtenidas o durante ellas si va a medirse una gran cantidad de piezas.

**Tabla 10.6.**

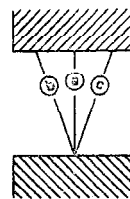


Cuando un agujero tiene un diámetro pequeño, esto es, un pequeño radio de curvatura, no es necesaria una placa guía y el medidor de agujeros puede posicionarse para que dé la máxima distancia a través de la sección transversal del agujero, igual al diámetro de éste, apoyándose en las reacciones de la fuerza de contacto. Sin embargo, en los medidores para agujeros grandes el posicionamiento debe apoyarse en placas guía. Adicionalmente, aun cuando esté posicionado en la línea de centro del agujero, deberá buscarse el punto que dé la mínima distancia en el plano que contiene el eje del agujero. Esto se requiere cuando se está midiendo un agujero y cuando se está fijando la dimensión de referencia.

Para hacer esto, mueva el medidor de agujeros en la dirección que indica la flecha en la figura 10.40. En la práctica, primero inserte el medidor a un ángulo



**Figura 10.40.**


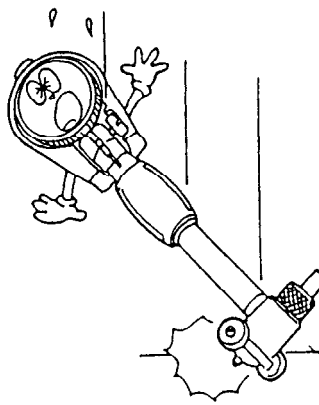
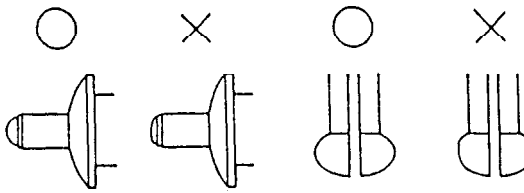


**Figura 10.41.**

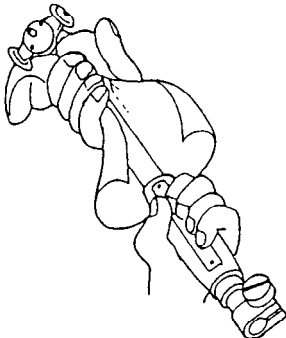
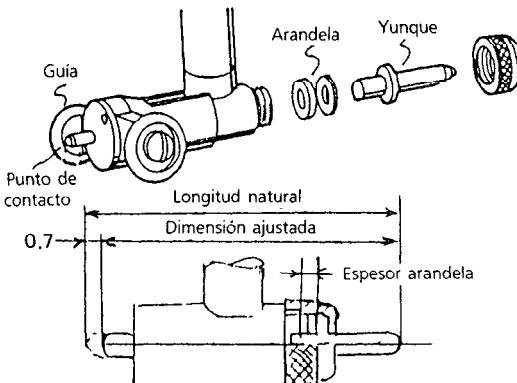
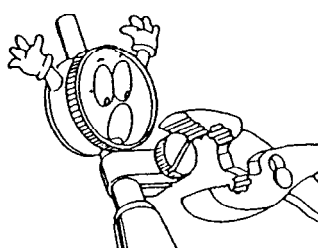
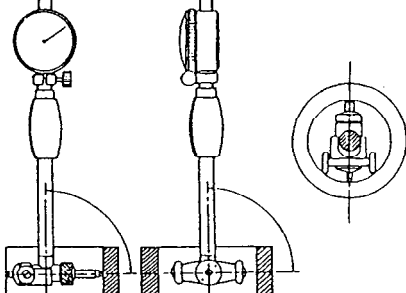
dentro del agujero, entonces ajústelo gradualmente de modo que quede paralelo al eje de éste. En este caso la aguja girará en sentido horario al punto mínimo, después de pasar este punto la aguja girará en sentido antihorario. El valor donde el movimiento de la aguja se invierte muestra la posición *a*) en la figura 10.41.

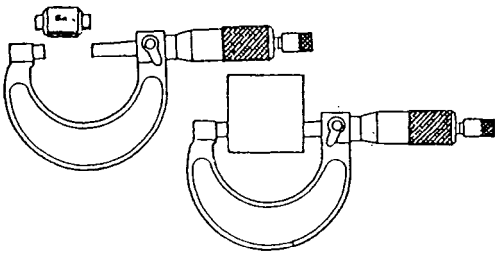
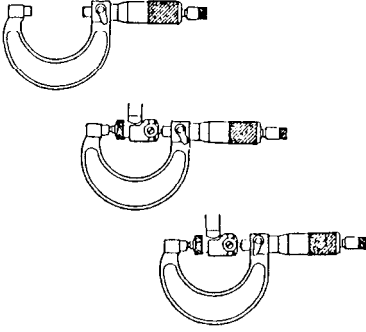
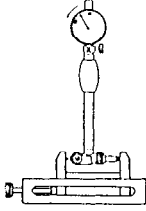
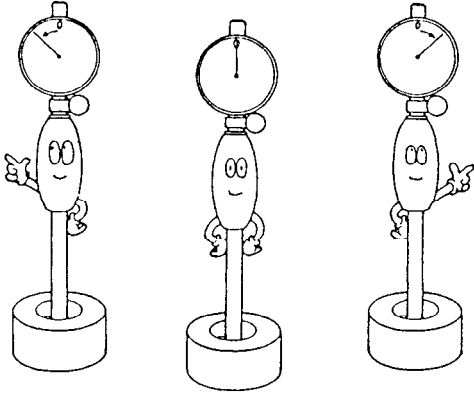
### Recomendaciones para el uso de los medidores de agujeros

Las figuras de esta y las tres siguientes páginas mencionan algunos cuidados importantes que deben observarse durante la utilización de medidores de agujeros con indicador de carátula.

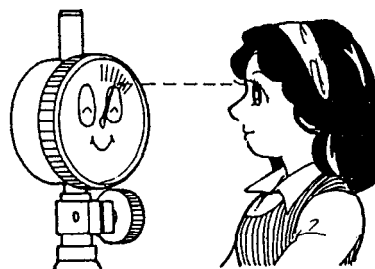
<p>1. Seleccione el medidor de agujeros que mejor se adapte a su aplicación. Asegúrese de que el tipo, rango de medición, graduación, longitud de tubo y otras especificaciones del medidor sean apropiadas para su aplicación.</p>	
<p>2. No tire ni golpee el medidor de agujeros.</p>	
<p>3. Reemplace las puntas de medición desgastadas.</p>	



<p>4. Elimine polvo y suciedad del medidor de agujeros antes de usarlo.</p>	
<p>5. Ajuste el punto cero (punto neutral) del medidor de agujeros, en incrementos de 0.5 mm, aproximadamente, al centro del rango de medición del medidor.</p> <p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de medición de diámetro: 42.30-42.80 mm</li> <li>• Rango del medidor de agujeros: 35-60 mm</li> <li>• Indicador de carátula: graduaciones 0.01 mm</li> <li>• Ajuste del punto cero: 42.5 mm</li> <li>• Tamaño nominal de la punta: 40 mm</li> <li>• Espesor de la rondana: 2 mm + 0.5 mm</li> </ul>	
<p>6. Monte y asegure adecuadamente el indicador. Ajuste la profundidad del indicador mientras observa la posición de la aguja indicadora. Asegure en forma adecuada el indicador, pero no apriete excesivamente.</p>	
<p>7. Ajuste a cero el indicador por medio de uno de los siguientes métodos:</p> <p>A: Utilizando un anillo patrón</p>	

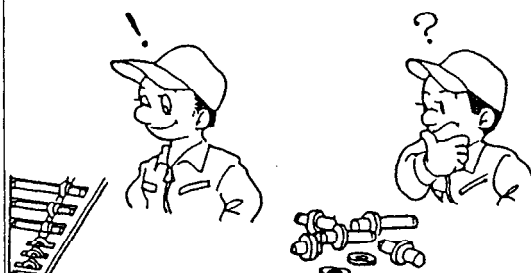
<p>B: Utilizando un micrómetro</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abra el micrómetro de 0.1 a 0.2 mm (.004" a .008") más de la dimensión requerida.</li> <li>• Manteniendo el medidor de agujeros entre los topes de medición del micrómetro, ajuste éste y frénelo cuando la lectura sea igual a la dimensión requerida.</li> <li>• Mueva cuidadosamente el medidor de agujeros a la izquierda y a la derecha mientras observa el movimiento de la aguja. Cuando la lectura está a su mínimo, mueva el arillo del indicador de carátula de modo que indique el punto cero.</li> </ul>	
<p>C: Utilizando bloques patrón y accesorios para éstos.</p> <p>* * *</p>	
<p>D:</p>	
<p>8.</p> <p>Note la relación entre las direcciones del desplazamiento de la punta de contacto y la rotación de la aguja indicadora.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La rotación en sentido horario de la aguja, desde el punto cero, indica que la dimensión es menor que el valor fijado.</li> <li>• La rotación en sentido antihorario de la aguja, desde el punto cero, indica que la dimensión medida es mayor que el valor fijado.</li> </ul>	 <p>Diámetro mayor      Referencia      Diámetro menor</p>

9.  
Evite errores de paralaje leyendo la carátula directamente desde el frente.



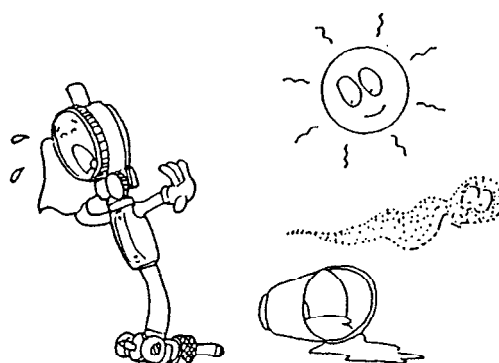
10.  
Después de usarlo, elimine el polvo y huellas digitales del medidor de agujeros y del indicador con un paño suave y seco.

11.  
Cuando almacene el medidor de agujeros por largos periodos o cuando éste necesite aceite, use un paño saturado con aceite antioxidante; frote suavemente cada sección del medidor. Asegúrese de que el aceite se distribuya uniformemente sobre las superficies.



12.  
Los siguientes puntos deberán considerarse cuando se almacenen medidores de agujeros con indicador de carátula.

- Almacene el medidor en un ambiente de baja humedad y bien ventilado.
- Guarde el medidor en un ambiente libre de polvo.
- No coloque el medidor directamente sobre el piso.
- Almacene el medidor con el indicador desmontado.
- Guarde el medidor en un estuche.



### Fijación de una dimensión de referencia

(Puesta a cero del indicador de carátula)

Una dimensión de referencia puede fijarse utilizando:

1. Un anillo patrón
2. Un micrómetro de exteriores
3. Bloques patrón y sus accesorios
4. Medidor maestro de alturas

Cada caso se muestra en las figuras 10.42, 10.43, 10.44 y 10.45, respectivamente.

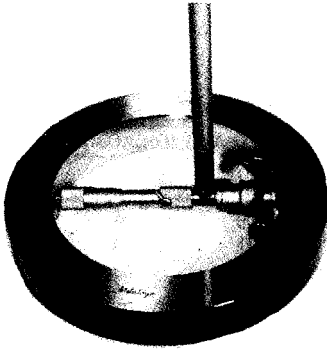


Figura 10.42.

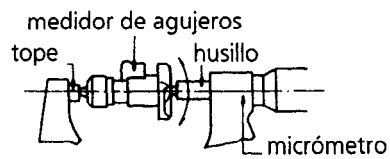


Figura 10.43.

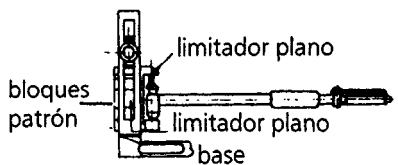


Figura 10.44.

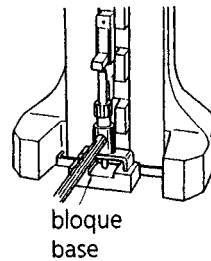


Figura 10.45.

### Explicación de características especiales

Algunos medidores de agujeros tienen una placa guía como la que muestra la figura 10.46; para operarlos sígase el procedimiento descrito enseguida.

1. Empuje la placa guía ligeramente, tan lejos como se pueda, en la dirección de la flecha (1) en la figura 10.46, entonces gire en sentido horario 90° en la dirección de la flecha (2).
2. Mantenga la placa guía en esa posición angular y jálela en la dirección de la flecha (3).

Cuando guarde la placa guía en su estuche, siga el procedimiento en orden inverso.

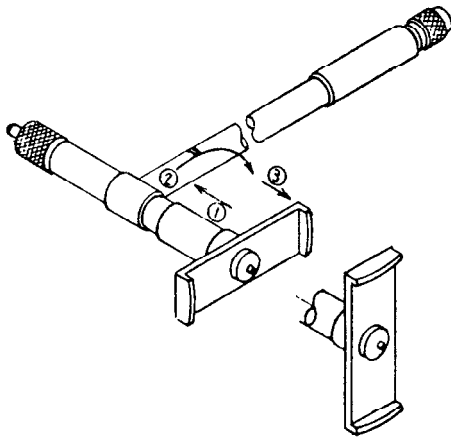


Figura 10.46.

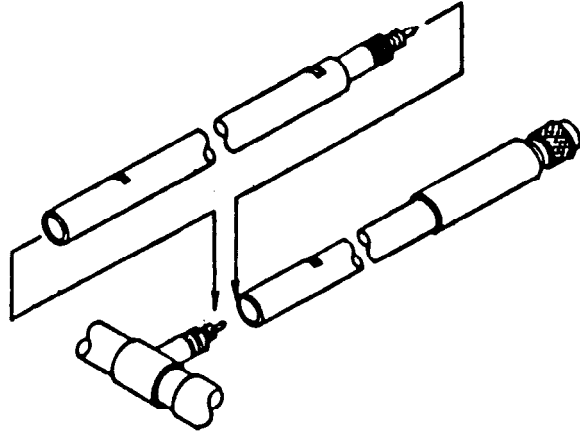


Figura 10.47.

El mango tiene una estructura en la cual puede montarse una barra de extensión. Utilice el siguiente procedimiento cuando monte o desmonte la barra de extensión.

1. Separe la junta entre el mango y la cabeza de medición utilizando la llave suministrada con la barra de extensión.
2. Atornille la barra de extensión dentro de la rosca del mango, entonces atornille la cabeza micrométrica dentro de la barra de extensión (véase Fig. 10.47).

### Avances actuales

Nuevos tipos de medidores de agujeros han sido elaborados para satisfacer la variedad de aplicaciones actuales.

1. Medidor de agujeros poco profundos.  
Éste sirve para la medición de diámetros interiores cerca del fondo. Los diámetros pueden medirse a un mínimo de 2.5 mm desde el fondo.

2. Medidor de agujeros con barra corta.

Cuando no hay suficiente espacio arriba del agujero que se desea medir, como lo ilustra la figura 10.48, tal vez no sea posible medir con un medidor estándar porque la barra es demasiado larga. Para solucionar este caso la barra puede acortarse para realizar la medición en forma conveniente.

Además de estos tipos, se manufacturan medidores especiales para medir diámetros extragrandes, agujeros extraprofundos de diámetros de agujeros cuya profundidad sea mayor de 2 m. Un comparador eléctrico (tipo cartucho con amplificador electrónico) con frecuencia se incorpora a la barra hueca de un medidor de agujeros para tomar mediciones y sacarlas por medio de un cable.

Modelos recientes cuentan con un indicador electrodigital incorporado al medidor de agujeros, de modo que los datos obtenidos pueden analizarse estadísticamente mediante un procesador de datos externo.

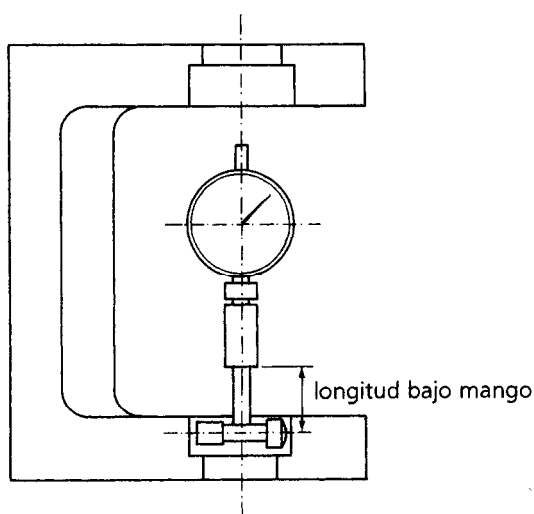


Figura 10.48.

## INDICADORES ELECTRODIGITALES

### Introducción

En contraste con los indicadores de carátula convencionales que muestran los valores medidos mediante el giro mecánico de una aguja, los electrodigitales pueden mostrar, por medios eléctricos, los valores medidos sobre una pantalla digital.

Los beneficios de la digitalización incluyen la adición de nuevas funciones: pueden evitarse errores de lectura y permite la salida de los datos obtenidos debido a que están convertidos en señales eléctricas, hacia sistemas de procesamiento de datos para su análisis estadístico e impresión, lo cual es una poderosa herramienta para el control de calidad, además de que ahorra trabajo.

La construcción básica de un indicador electrodigital cuenta con un codificador lineal interconstruido que leerá eléctricamente el desplazamiento de la escala principal, como lo muestra la figura 10.49.

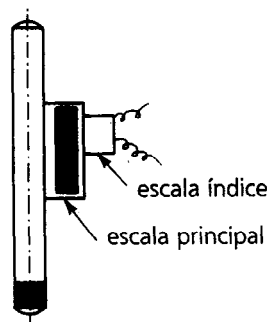


Figura 10.49.

Esta estructura elimina por completo el sistema mecánico de amplificación del desplazamiento y tiene la capacidad de lograr mediciones con un amplio rango de exactitud que los indicadores de carátula nunca han logrado.

### Indicadores tipo fotoeléctrico

El principio básico de estos indicadores consiste en enviar luz a través de retículas marcadas sobre una escala de vidrio y convertir la intensidad luminosa en señales eléctricas; un modelo que utiliza este método de detección y que puede operarse con control remoto se muestra en la figura 10.50.

### Indicadores tipo capacitancia

El método de estos indicadores consiste en leer directamente la variación de capacitancia entre los dos electrodos emplazados en la escala principal y en la escala índice. Una característica importante de este método es que puede funcionar con una batería tipo botón (SR44), por tanto, no requiere cable tomacorriente debido a su bajo consumo de energía.

Los indicadores electrodigitales tienen casi el mismo tamaño circular que los de carátula y la capacidad de girar la parte frontal hasta 330°. Todas estas características les permiten utilizar los mismos soportes diseñados para los indicadores de carátula.

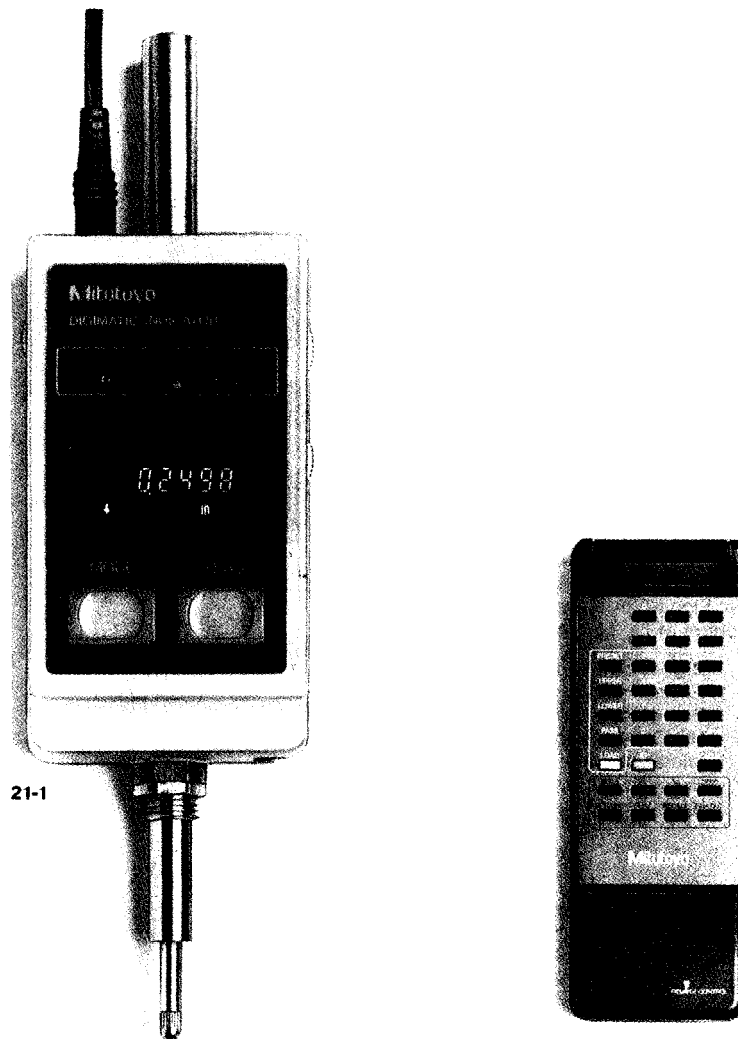


Figura 10.50.

## Funciones provistas con los indicadores electrodigitales

### 1. Fijado del cero

La pantalla digital puede fijarse a cero en cualquier posición dentro del rango de medición. Esto elimina la necesidad de un soporte con ajuste fino para posicionar el indicador a cero. Por tanto, el soporte puede tener la estructura de una columna gruesa (30 mm) y un freno simple y rígido que le permita al indicador mediciones estables.

Algunos modelos tienen dos modos de medición intercambiables: medición absoluta y medición incremental.



## 2. Salida de datos

Es posible conectar el indicador electrodigital a microprocesadores para el procesamiento estadístico de la información y la impresión de datos. También es posible transmitir señales a una computadora externa; existen interfaces disponibles para convertir los datos al formato RS-232C.



Figura 10.51.

Figura 10.52.

Figura 10.53.

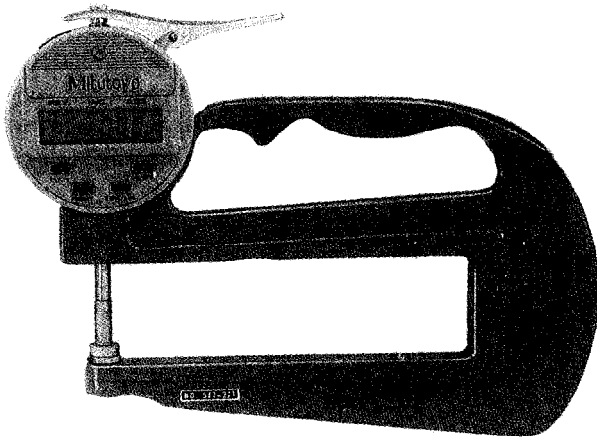


Figura 10.54.

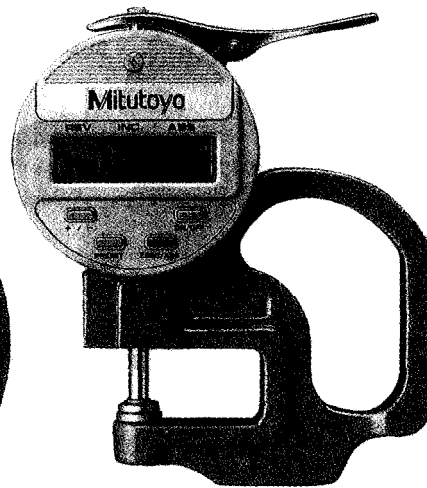


Figura 10.55.

### 3. Cambio de dirección

La dirección de conteo del movimiento de retracción del husillo puede ser positiva (esto es normal) o negativa.

### 4. Prefijado

La posición inicial del contador puede fijarse al valor deseado; por lo tanto, si se utiliza en combinación con un bloque patrón puede leer el valor medido, el cual puede exceder el rango de medición del indicador y representará la longitud real de la dimensión medida y no la diferencia contra el bloque patrón, como ocurre con los indicadores de carátula.

### 5. Juicio pasa/no pasa

Si en el inicio se fijan los límites superior e inferior especificados, es posible hacer juicio pasa/no pasa de los valores medidos.

### 6. Pantalla con gráfica de barras

Como puede apreciarse en la figura 10.51, es posible tener una pantalla analógica con gráfica de barras además de la pantalla digital. La resolución de la gráfica de barras puede ser conmutable entre 1 y 10  $\mu\text{m}$ .

Las figuras 10.52, 10.53, 10.54 y 10.55 muestran algunas aplicaciones de indicadores electrodigitales.

## INDICADORES DE CARÁTULA TIPO PALANCA

## Introducción

Mientras los indicadores de carátula normales miden una pieza por medio de desplazamiento lineal de un husillo, los de carátula tipo palanca lo hacen mediante el movimiento circular de una palanca que tiene una punta de contacto

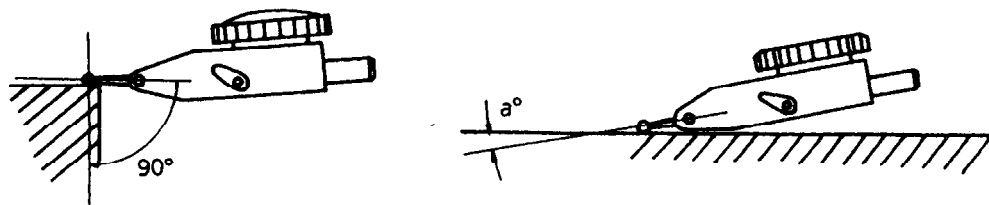


Figura 10.56.

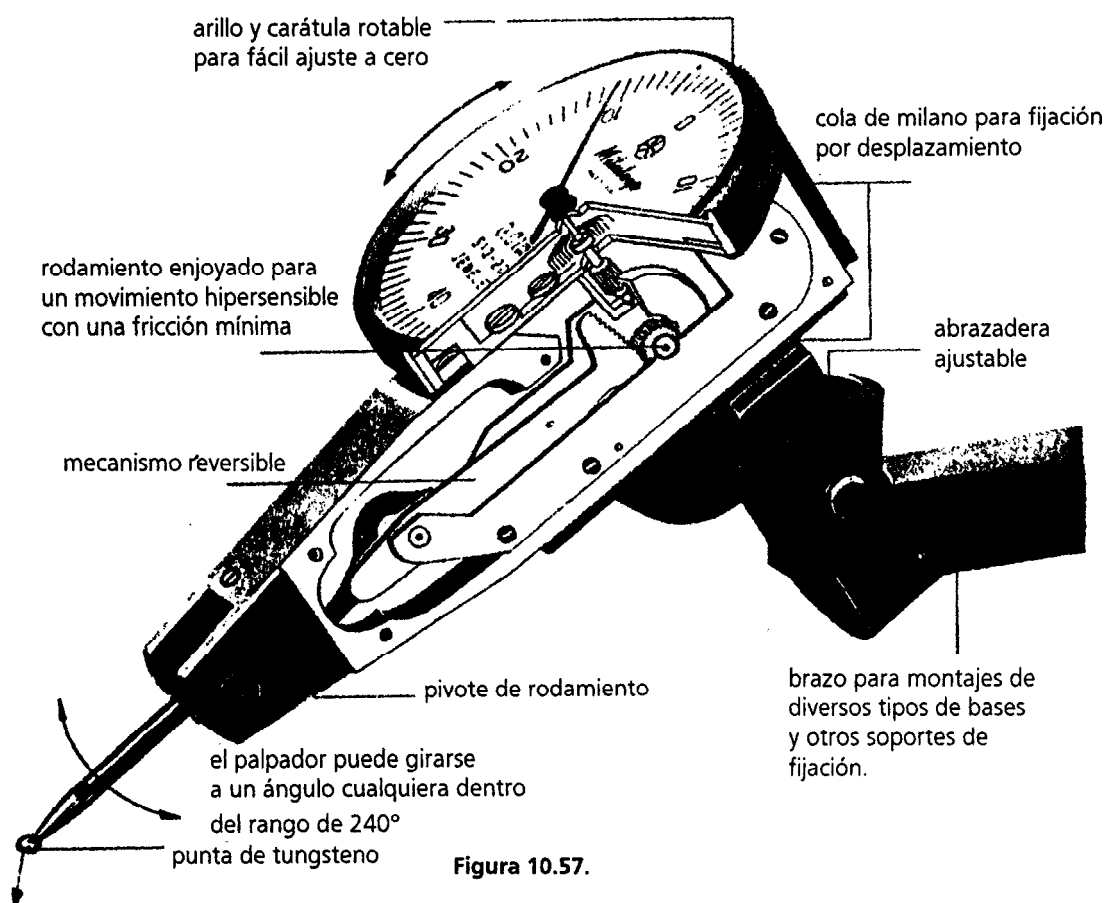


Figura 10.57.

en su extremo. Dado que la fricción presente es mínima, pueden medir con una baja fuerza de medición y tienen una alta sensibilidad de medición.

Sin embargo, como la punta de contacto describe un arco, un error de coseno es inherente a las mediciones. Para minimizar este error el eje de la punta de contacto debe colocarse tan paralelo como sea posible a la superficie medida (orientada perpendicularmente a la dirección de la medición, véase la Fig. 10.56).

### Estructura básica

El indicador de control tipo palanca viene en dos tipos: uno con embrague y otro sin él. El segundo tipo puede medir moviendo la punta de contacto en ambas direcciones (arriba-abajo), mientras que el primero cambia la dirección de medición utilizando el embrague.

En el tipo con embrague la dirección en la cual se realiza la medición se cambia invirtiendo la dirección de la fuerza de medición con una palanca embrague (Fig. 10.58).

Por otro lado, el tipo convencional sin embrague opera como lo muestra la figura 10.59. Cuando la punta de contacto se mueve hacia arriba la sección A del brazo hace contacto con el perno del sector de engrane y entonces empuja el sector (del lado del engrane) hacia abajo. Cuando la punta de contacto se mueve hacia abajo, la sección B del brazo contacta el perno opuesto sobre el sector y empuja el extremo izquierdo del sector hacia arriba, lo que provoca, en el lado del engrane, un movimiento hacia abajo. Este movimiento se transmite a través del piñón intermedio, el engrane corona y el piñón central; finalmente se convierte en el movimiento giratorio de la aguja.

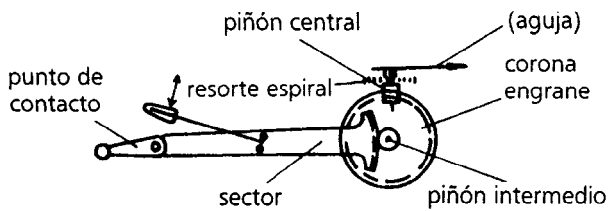


Figura 10.58.

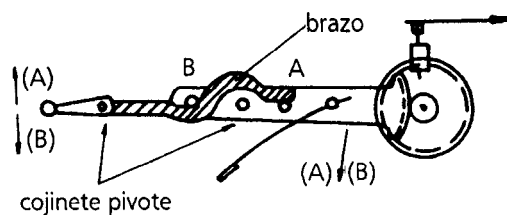


Figura 10.59.

Sin embargo, debido a que el tipo convencional sin embrague tiene un punto de apoyo más que el otro tipo, el error de retroceso (la diferencia entre los valores medidos obtenidos en la ida y el regreso) se incrementa. Por tanto, en casos en que se requiere una alta sensibilidad, el tipo con embrague se utiliza con mayor frecuencia. El tipo sin embrague tiene una baja resistencia a los golpes debido a que el sector de engrane tiende a sobregirar si la punta de contacto se golpea contra una pieza.

Adoptando la estructura del indicador tipo con embrague y dándole una propiedad antichoque, un nuevo tipo sin embrague ha sido elaborado; tiene la

ventaja del tipo sin embrague y las características del tipo con embrague (Fig. 10.60).

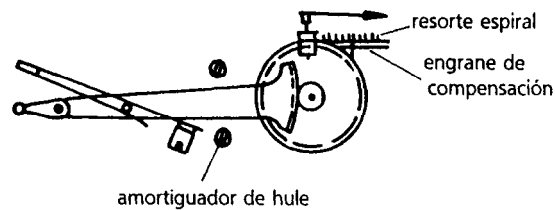


Figura 10.60.

### Tipos de indicador de carátula tipo palanca

Hay tres tipos principales de indicadores de carátula tipo palanca que se adecuan a diversas operaciones de medición: horizontal, vertical y paralelo. Muchos de ellos tienen graduaciones de 0.01 o 0.002 mm. Cada uno de los principales tipos es, a su vez, dividido en varias categorías: el que tiene una punta larga, adecuado para medir dentro de un agujero profundo, el tipo a prueba de polvo y agua y los que tienen embrague y los que carecen de él.

El tipo horizontal es el que con mayor frecuencia se utiliza para medir el cabeceo (*runout*) de un cuerpo de revolución y para desplazarse linealmente sobre una pieza.

Un indicador tipo vertical como el que se muestra en la figura 10.61 sirve para centrar el agujero de una pieza sobre el plano X-Y de un taladro vertical. La razón es que si el tipo horizontal se sujeta al eje rotatorio del taladro para realizar la medición, el operador no puede ver la carátula cuando ésta queda en el lado opuesto (Fig. 10.62).

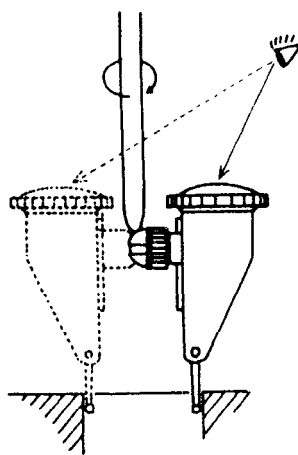


Figura 10.61.

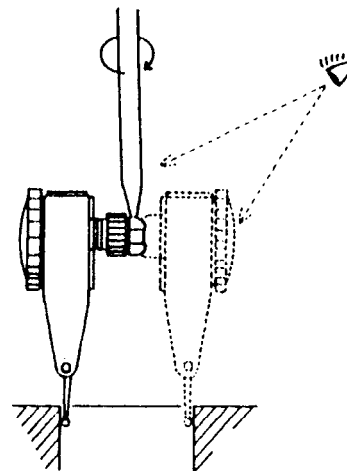


Figura 10.62.

Un tipo horizontal que tiene una cola de milano en su superficie inclinada puede utilizarse como tipo vertical (Fig. 10.63).

Además de los tres tipos principales antes descritos, se ha elaborado el tipo universal (la figura 10.64 muestra el mecanismo y la figura 10.65 este tipo de indicador). El tipo universal no sólo puede girar  $360^\circ$  la cabeza de medición, sino que también la dirección de medición (dirección de la fuerza de medición) puede ajustarse a cualquier ángulo, esto brinda la ventaja de los tipos paralelo y horizontal, además de facilitar la medición en direcciones oblicuas.

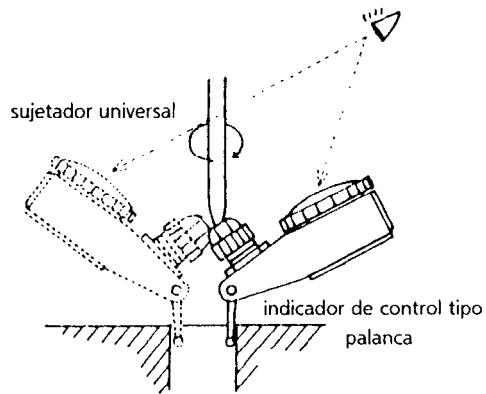


Figura 10.63.

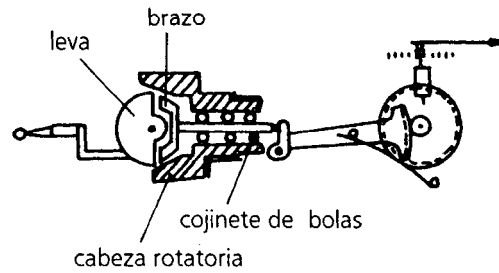


Figura 10.64.

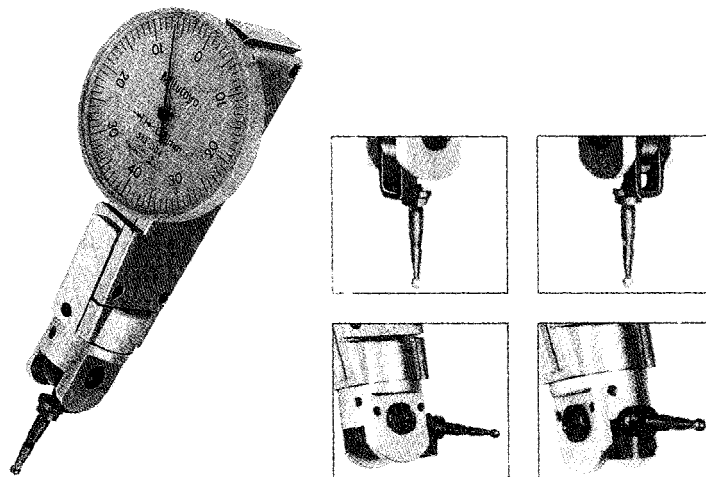


Figura 10.65.

### Cuidados generales requeridos al utilizar indicadores de carátula tipo palanca

Las figuras de esta y las cuatro siguientes páginas mencionan algunos cuidados importantes que deben observarse cuando se utilicen indicadores de carátula tipo palanca.

La figura 10.66 ilustra varias aplicaciones del indicador de control tipo palanca para el centrado, alineado y nivelado de piezas en máquinas-herramienta y la inspección de paralelismo y determinación de dimensiones de características internas y externas localizadas en un plano vertical. En estas últimas aplicaciones el indicador se monta sobre un medidor de altura, para ello existen algunos accesorios de sujeción como los que ilustra la figura 10.67.

Cuando los indicadores de carátula tipo palanca están montados en un medidor de altura para la inspección de piezas se tienen dos ventajas sobre la medición con el trazador del medidor de altura.

1. Es un medio para duplicar la fuerza de medición a la cual se toman una serie de mediciones.
2. El indicador es más fácil de leer que la escala vernier, por lo que es muy útil para mediciones por comparación pues se determina fácilmente la variación (más o menos) desde la dimensión de referencia.

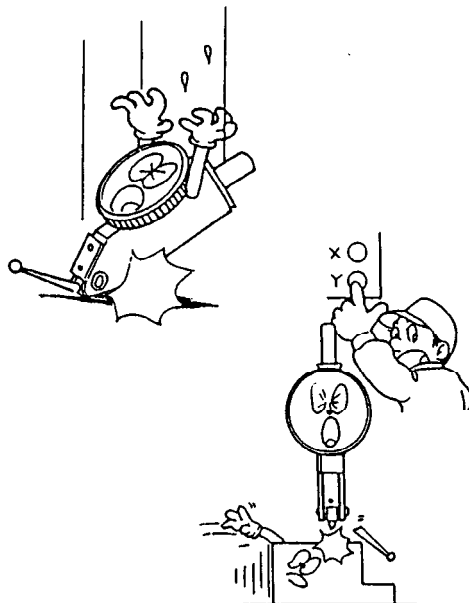
1.  
Seleccione el indicador de carátula tipo palanca que mejor se acople a su aplicación.

- Asegúrese de que el tipo, graduación, rango de medición y otras especificaciones del indicador sean las apropiadas para su aplicación.



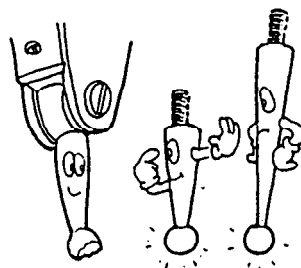
2.

No deje caer ni golpee el indicador.



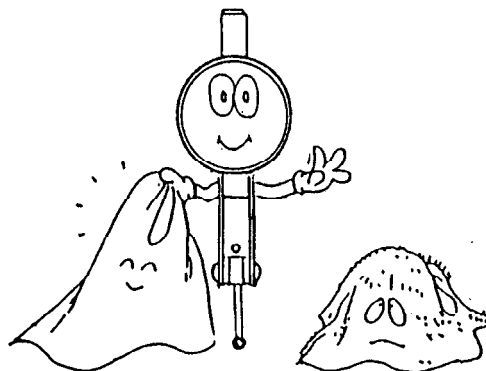
3.

Reemplace las puntas de contacto dañadas sólo con aquellas que sean del mismo tamaño.



4.

Elimine polvo o suciedad del indicador antes de usarlo.

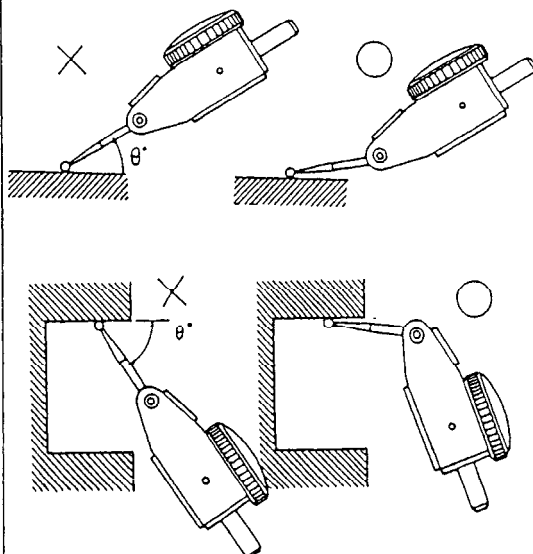




5.

Cuando monte el indicador de carátula tipo palanca a un soporte o dispositivo posicónelo de modo que la inclinación del ángulo  $\theta$  sea mínimo.

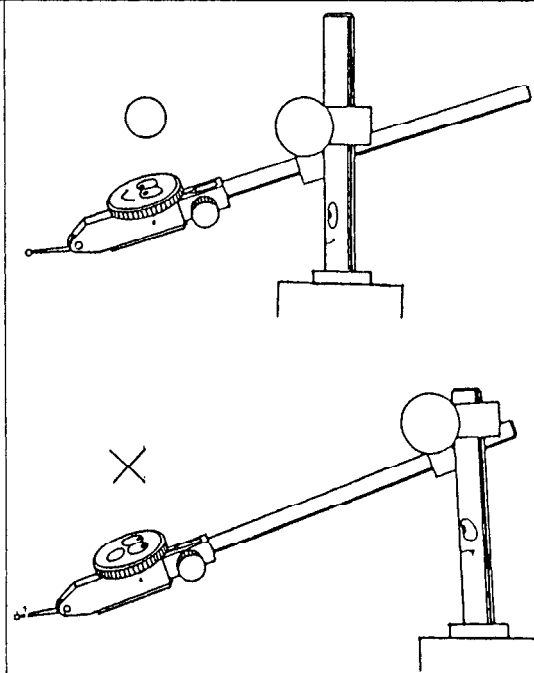
	Ángulo de inclinación $\theta$		
	0°	10°	30°
Lectura del indicador $X$	0.050 mm (.002")	0.050 mm (.002")	0.050 mm (.002")
Coefficiente de corrección $\cos \theta$	1.000	0.985	0.866
Valor corregido $X \cos \theta$	0.050 mm (.002")	0.049 mm (.00196")	0.043 mm (.0017")
Error $X (1 - \cos \theta)$	0.000 mm (0")	0.001 mm (.00004")	0.007 mm (.0003")



6.

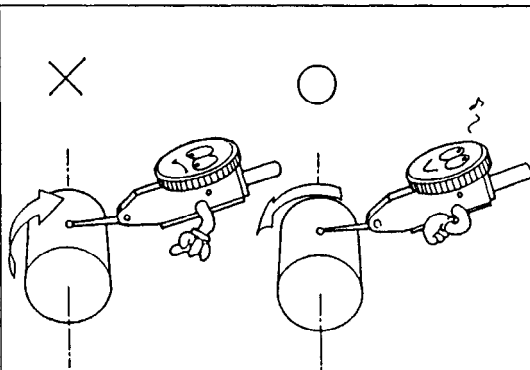
Use un soporte rígido para montar y ajustar el indicador de modo que el centro de gravedad quede en la base.

- Ajuste el indicador de modo que la distancia del indicador a la columna sea mínima.
- Si es necesario, use un contrapeso para asegurar que el centro de gravedad quede en la base.

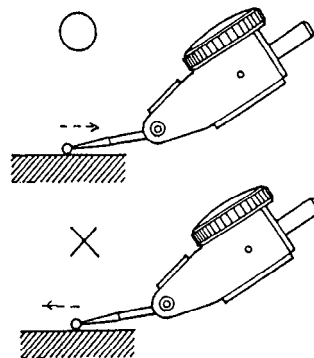


7.  
Cuando mida un objeto en rotación asegúrese de que el sentido de ésta sea el correcto (véase figura).

- No gire la pieza de trabajo hacia la punta de contacto.

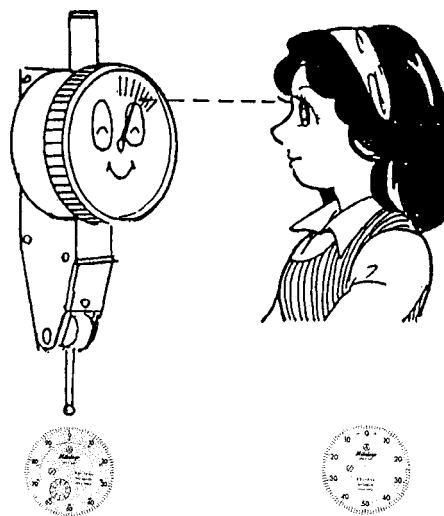


8.  
Cuando mida un objeto deslizante, las lecturas deberán tomarse sólo cuando la pieza de trabajo se mueva hacia la punta de contacto.



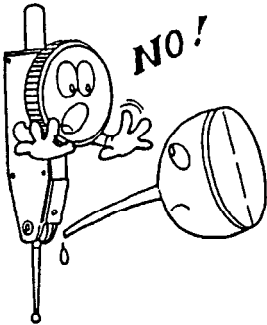
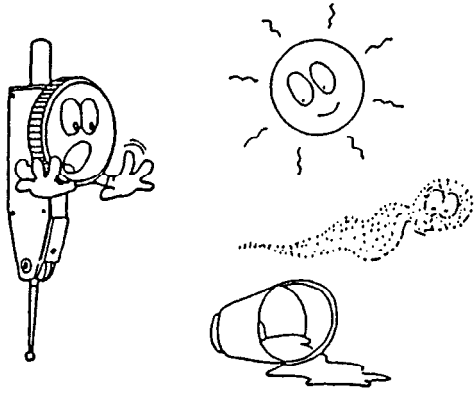
9.  
Evite errores de paralaje leyendo la carátula del indicador desde el frente. Observe la relación entre las direcciones del punto de contacto y el desplazamiento con rotación de la manecilla del indicador.

- Los indicadores sin embrague están disponibles en dos tipos: los de tipo lectura continua, en los cuales la aguja gira en dirección de las manecillas del reloj, sin tomar en cuenta el desplazamiento de la punta de contacto desde la posición de reposo; y los del tipo balanceado (por ejemplo 0-5-0) y en los cuales la dirección del desplazamiento de la punta de contacto desde el punto de reposo cambia la dirección de giro de la aguja.



Lectura continua

Lectura balanceada

<p>10. Después de usarlo, limpie huellas digitales y suciedad del indicador con un trapo suave y seco.</p>	
<p>11. Cuando el indicador permanezca almacenado por largos periodos o cuando necesite aceite, use un trapo empapado con aceite anticorrosivo y frote ligeramente el cuerpo, las áreas de fijación (colas de milano) y el vástago; asegúrese de que el aceite se distribuya uniformemente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El aceite nunca debe tocar el cristal ni los cojinetes.</li> </ul>	
<p>12. Los siguientes puntos deberán considerarse cuando se almacenen los indicadores de control.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No exponga el indicador a la luz solar directa.</li> <li>• Almacene el indicador en un lugar ventilado y con baja humedad.</li> <li>• Almacene el indicador en un lugar libre de polvo.</li> <li>• No coloque el indicador directamente en el piso.</li> <li>• Almacene el indicador en su estuche o una bolsa de plástico.</li> </ul>	

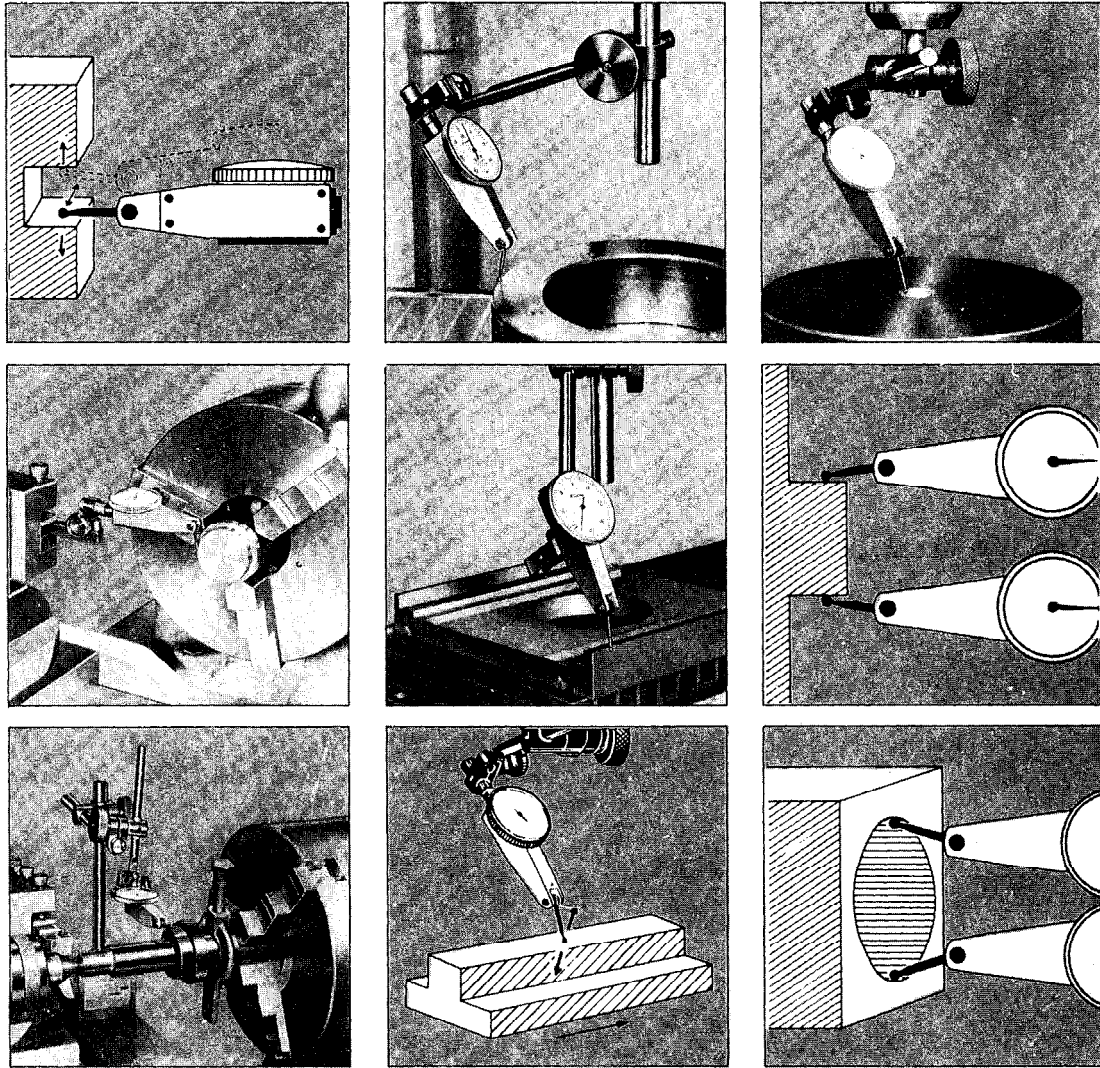


Figura 10.66.

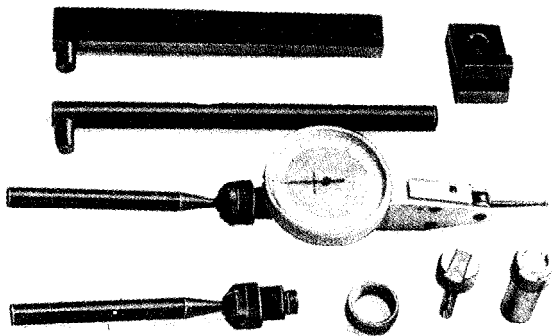
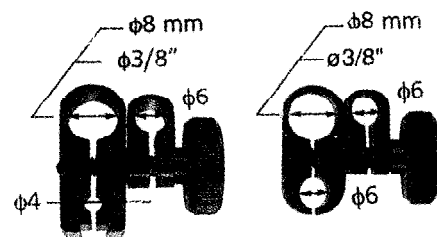


Figura 10.67.





# Instrumentos electrodigitales

## INTRODUCCIÓN

### **Demanda de sistemas digitales de medición**

Cuando el diámetro de una barra redonda o el espesor de una placa se mide con un micrómetro convencional, la medición la indica una escala analógica. Si el verdadero valor de la dimensión pudiera expresarse, se requeriría un número infinito de dígitos decimales.

Cuando una dimensión puede representarse con un número finito de dígitos, 10.24 o 10.25 mm, en realidad este número sólo es la mejor estimación que el operador puede leer en la escala del instrumento. En otras palabras, el operador ha convertido el valor analógico en un valor digital basándose en su juicio.

Un instrumento de medición capaz de mostrar instantáneamente valores digitales evitaría el juicio del operador en la lectura de la escala. La necesidad de facilitar la lectura, aun con iluminación insuficiente, fomenta la introducción de dispositivos que proporcionen lecturas digitales, y especialmente en el caso de herramientas como el micrómetro, en el cual evita lecturas erróneas de la más pequeña graduación sobre el cilindro de éste.

Con el objeto de proporcionar lectura digital, es necesario disponer de un mecanismo para convertir valores de datos analógicos en digitales.

Fue necesario realizar múltiples investigaciones para lograr un sistema de lectura digital en instrumentos de medición que utilizan contadores mecánicos y convertidores eléctricos A/D (analógico/digitales). En las etapas iniciales algunos fabricantes de equipo de medición elaboraron instrumentos como las cabezas micrométricas electrodigitales, las cuales se instalaban sobre la platina de un comparador óptico y se conectaban con un cable a un contador digital independiente. No tuvieron mucho éxito como dispositivos populares de medición porque eran poco prácticos y muy caros.

### **El arribo de los instrumentos electrodigitales de medición**

Desde entonces, el desarrollo de la tecnología electrónica ha sido notable. Al final de los años 70 el arribo de nuevos tipos de instrumentos digitales de medición que no requerían cables fue favorecido por el rápido progreso de la tecnología de integración en gran escala (LSI), junto con el desarrollo de pantallas digitales, como las de cristal líquido (LCD), y la miniaturización de las baterías. En 1980 y 1981 se introdujeron al mercado una serie de medidores electrodigitales de

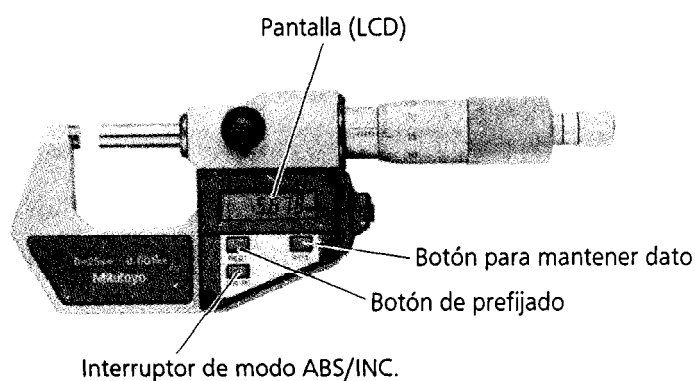
altura, micrómetros e indicadores. En 1982 entró al mercado el calibrador electrodigital que fue un instrumento difícil de digitalizar debido a su pequeño tamaño.

La adopción de tecnología electrónica avanzada no sólo ha allanado el camino de los instrumentos electrodigitales de medición, sino que también ha posibilitado la expansión de funciones en una forma que fue difícil lograr con los sistemas mecánicos.

El precio, inevitablemente, se incrementó, pero la mejor funcionalidad justifica el aumento. Las herramientas de medición con funciones múltiples también han estado disponibles debido a la aplicación de microprocesadores.

Los requerimientos para mediciones más exactas han intensificado el cumplimiento de estándares elevados en las técnicas de fabricación. Los instrumentos electrodigitales dan valores de medición sólo hasta un cierto lugar decimal y no indican los valores de los datos a media graduación que permiten los tipos analógicos por estimación visual. Debido a esta limitación, y con el objeto de minimizar errores que surgen del truncamiento de fracciones que se acumulan en procesamiento de datos como cálculos estadísticos, los requerimientos se han incrementado para lograr una resolución mayor y así proporcionar un lugar decimal adicional. Para algunos tipos de medición la lectura analógica es mejor. Los sistemas electrodigitales, sin embargo, han permitido nuevas aplicaciones, a las cuales no puede accederse con las herramientas convencionales de medición porque los sistemas electrodigitales pueden incorporar funciones de procesamiento de datos y proporcionar datos a dispositivos externos. Algunas de las futuras tendencias para los instrumentos electrodigitales de medición son las siguientes:

1. Miniaturización y menor precio con un mínimo número de funciones con el objeto de reemplazar los instrumentos convencionales de medición.



**Figura 11.1.** Micrómetro electrodigital para exteriores (tipo estándar).

2. Serán del tipo de propósito múltiple con muchas funciones y gran exactitud.
3. Integración a sistemas de medición y control de calidad mediante conexión a procesadores de datos o computadores personales.

## SENSORES DE POSICIÓN

La tabla 11.1 y las figuras 11.2, 11.3 y 11.4 muestran varios tipos de sensores de posición usados en herramientas de medición.

**Tabla 11.1.** Sensores de posición

Los siguientes tipos de sensores están en uso:		Micrómetro	Calibrador	Medidor de altura	Indicador
Codificador rotatorio	• Fotoeléctrico (Incremental)	⊙		⊙	○
	• Conducción de contacto (Incremental)	○	○	○	
	• Capacitancia electrostática (Incremental)	⊙			
Codificador lineal	• Fotoeléctrico (Incremental)	○	○	⊙	⊙
	• Capacitancia electrostática (Incremental y absoluto)		⊙	⊙	⊙
	• Escala magnética (Incremental)			○	
	• Transductor diferencial (absoluto)				⊙

Nota: Los marcados con ⊙ son los sistemas utilizados por Mitutoyo.

El mecanismo de detección del desplazamiento en un medidor de alturas es un codificador rotatorio que convierte el desplazamiento lineal del cursor en el movimiento rotatorio de un disco ranurado.

Entonces se digitaliza el número de revoluciones del disco para determinar el desplazamiento; en la figura 11.5 el piñón que está en contacto con la cremallera sobre la columna principal gira conforme el cursor se mueve de arriba abajo. El giro del piñón se transmite por medio de un engrane al piñón central y entonces gira el disco ranurado, el cual es concéntrico con el piñón central.



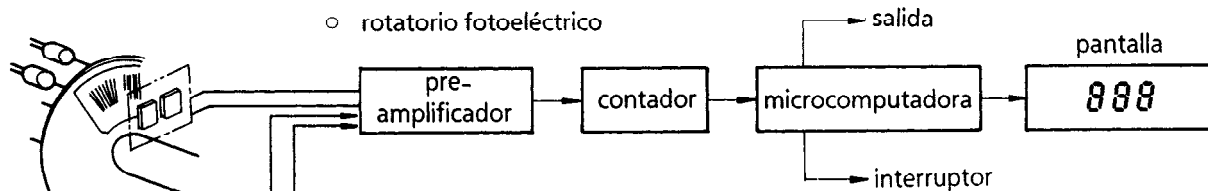


Figura 11.2. Sensor de posición fotoeléctrico tipo rotatorio.

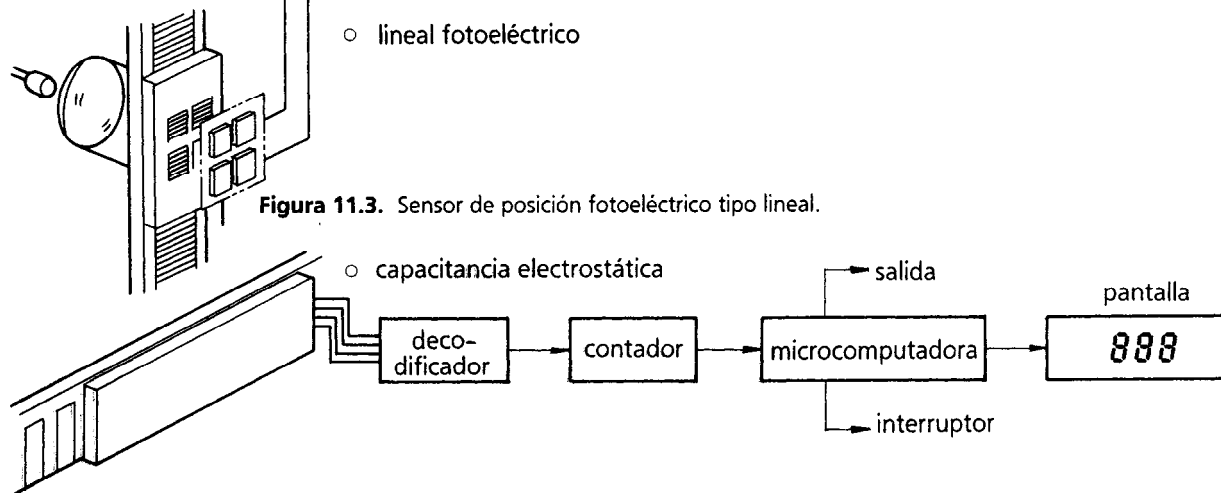


Figura 11.3. Sensor de posición fotoeléctrico tipo lineal.

Figura 11.4. Sensor de posición capacitivo tipo lineal.

Cualquier juego entre la cremallera y el piñón central se elimina mediante la tensión del resorte espiral que está entre el piñón y engrane antijuego. El disco tiene 125 ranuras dispuestas radialmente cerca de la orilla; conforme el disco gira el dispositivo fotoeléctrico recibe luz que cambia periódicamente de intensidad a través de las ranuras y genera señales de salida de 125 ciclos por cada giro del disco, cada ciclo de señal se divide eléctricamente en cuatro pulsos. Debido a que el disco está diseñado para girar una vez por cada 5 milímetros de desplazamiento del cursor, se obtiene una resolución de 0.01 mm.

La figura 11.6 muestra la estructura del codificador rotatorio utilizado en una cabeza micrométrica. El disco de vidrio tiene 250 segmentos igualmente divididos: 125 partes transparentes y 125 partes oscurecidas con cromo.

La cabeza micrométrica con lectura dual en mm y pulg tiene dos pistas: la que es para mm está en el lado exterior y tiene 127-127 segmentos, y la que es para pulgadas está en el interior y tiene 100-100 segmentos.

El elemento sensor que está incorporado con una escala índice de ranuras está frente al LED, dejando en medio al disco como lo muestra la figura 11.6.

Las ranuras son de 90° de diferencia de fase eléctrica.

Conforme el disco gira el elemento sensor obtiene dos señales, con diferencia de fase de 90°, que se generan de acuerdo con el cambio periódico en la intensidad de la luz.

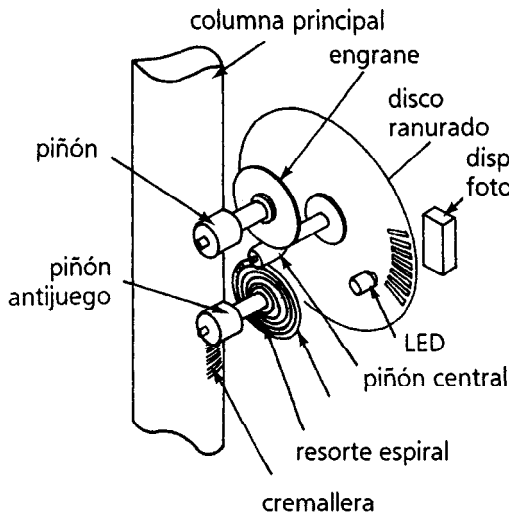


Figura 11.5.

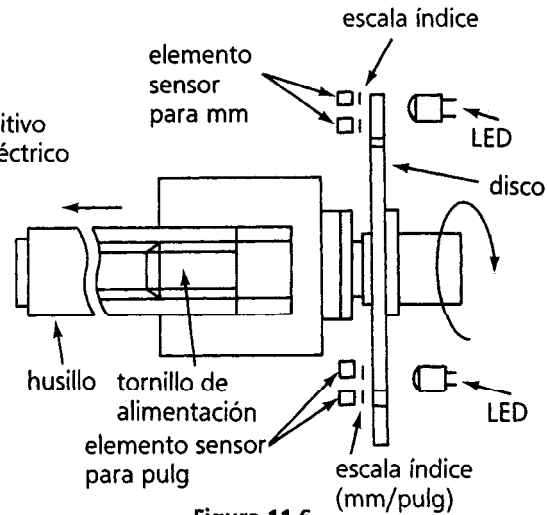


Figura 11.6.

Una revolución del tornillo de alimentación hace avanzar al husillo (que es del tipo no giratorio) hacia adelante o hacia atrás 0.5 mm. Con las señales que se generan el contador produce cuatro pulsos por un ciclo que será contado y digitalmente mostrado en una pantalla.

Con un solo giro del tambor en sentido horario el contador cuenta como sigue:

$$0.005 \text{ mm} = 125 \times 4 \times 0.001 \text{ mm}$$

125 ciclos por revolución  
4 pulsos por ciclo  
resolución

El sensor de desplazamiento de los calibradores electrodigitales utiliza un codificador lineal tipo capacitancia, el cual detecta desplazamientos basados en la diferencia de fase de corriente eléctrica inducida. Como lo muestra la figura 11.7, cada unidad sensora consiste de placas capacitores paralelas C1 y C2, placas emisoras P1 y P2 y placa receptora R. Cuando se aplican voltajes de onda senoidal  $V1 (= \sin wt)$  y  $V2 (= \cos wt)$  a las placas emisoras P1 y P2, respectivamente, la fase de la corriente eléctrica generada por la carga QR sobre la placa R se recorre desde la de V1 en proporción al desplazamiento de las placas emisoras. Una vez detectada la diferencia de fase, el desplazamiento o valor medido se determina como muestra la figura 11.8. El sensor de desplazamiento de un calibrador electrodigital contiene seis conjuntos de ocho placas emisoras (lo que proporciona ocho diferentes fases) o 48 placas emisoras en total.

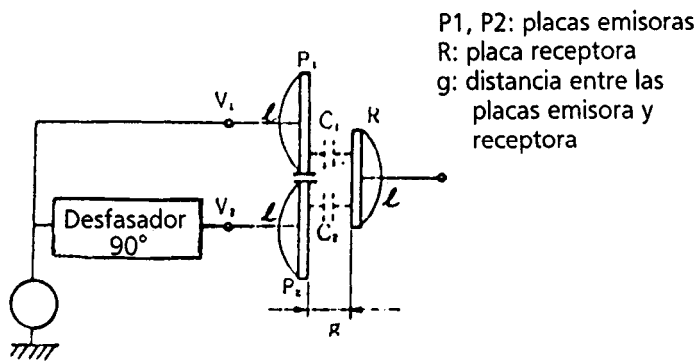


Figura 11.7.

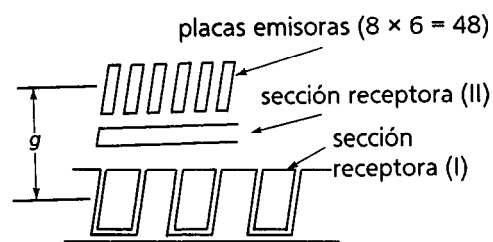


Figura 11.8.

## FUNCIONES BÁSICAS DE LOS INSTRUMENTOS ELECTRODIGITALES DE MEDICIÓN

Las funciones básicas de los instrumentos electrodigitales de medición son las siguientes. Las funciones disponibles varían según el tipo de producto.

### 1. Encendido/apagado (on/off).

Cuando un instrumento de medición no vaya a utilizarse por un largo periodo, la energía debe interrumpirse para ahorrar baterías o por razones de seguridad si se utiliza una línea como fuente de poder. Algunos productos tienen una función de autoapagado, la cual automáticamente interrumpe la corriente cuando el instrumento permanece ocioso por un cierto periodo. Una desventaja de este sistema es que cuando se apaga el instrumento, el operador tiene que fijar el origen o punto de referencia nuevamente. Para evitar este inconveniente algunos productos tienen una función *autoapagado*, o disminución automática de corriente, la cual baja la corriente a un nivel de justo, lo suficiente para retener el origen en la memoria.

Recientemente han sido elaborados productos cuyo consumo de corriente es ultrabajo; estos aparatos no tienen tecla on/off y pueden funcionar con una pequeña batería hasta por dos años.

### 2. Fijado de origen.

Utilizado para fijar el origen cuando se empieza la medición, algunos micrómetros permiten que su valor de punto dato (por ej. 25.000 mm para micrómetros de rango 25-50 mm) sea fijado como el valor de origen.

La figura 11.9 ilustra el procedimiento con micrómetros que tienen la tecla ORIGIN, en otros se utiliza el prefijado descrito en el siguiente punto.

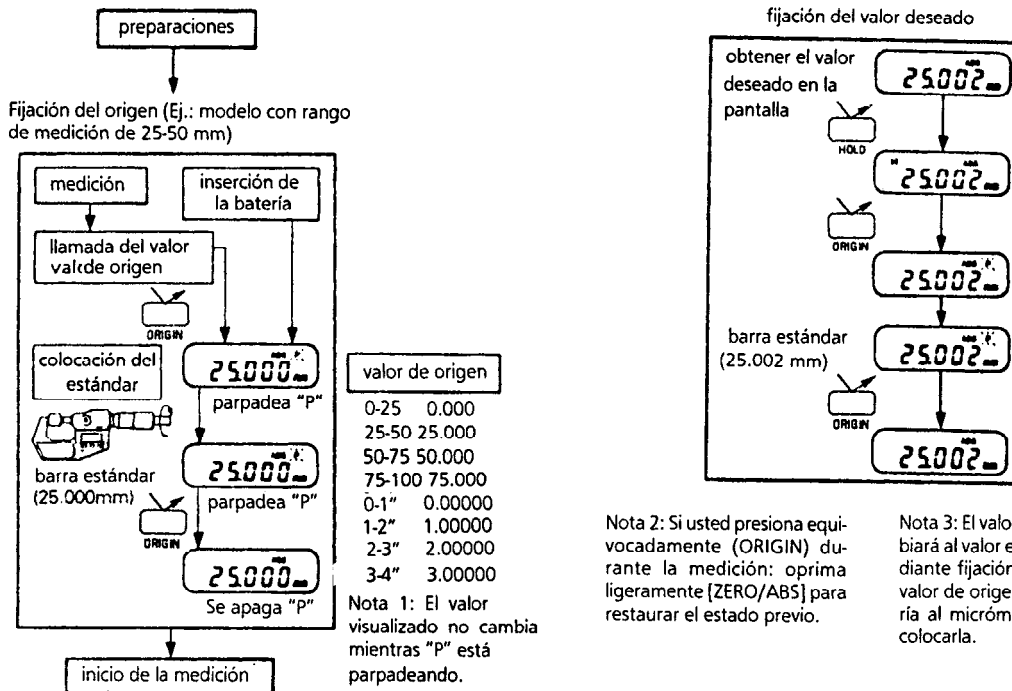


Figura 11.9.

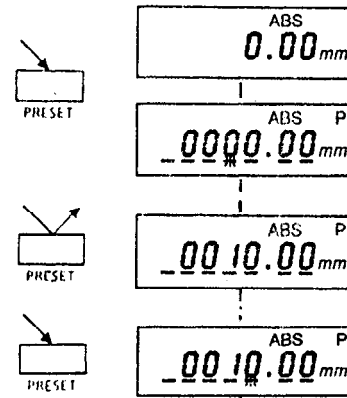
### 3. Prefijado.

Permite prefijar cualquier valor deseado sobre la pantalla a partir del cual el conteo empieza.

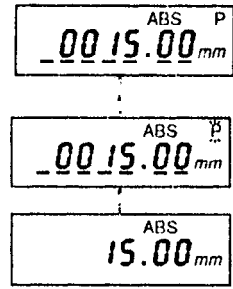
A continuación se ilustra el procedimiento para prefijado; se usa como ejemplo el valor de 15.00 mm.

Después de encender el instrumento:

- Mantenga oprimida la tecla *PRESET*.
- Libere la tecla cuando el cursor empiece a parpadear bajo la posición del dígito que va a modificarse.
- Oprima y suelte la tecla *PRESET* las veces que sean necesarias para obtener el valor deseado (en nuestro ejemplo es 1).
- Mantenga oprimida la tecla *PRESET* hasta que el cursor parpadee bajo la siguiente posición en la que se desea cambiar el valor del dígito mostrado.



- e) Oprima y suelte la tecla *PRESET* las veces necesarias hasta no obtener el valor deseado (en nuestro ejemplo es 5).
- f) Cuando termine de poner en pantalla el valor deseado mantenga oprimida la tecla *PRESET*; cuando la letra *P* empiece a parpadear suéltela.
- g) Oprima y suelte la tecla *PRESET*.



#### 4. Fijado del cero

Esta función sirve para poner cero en la pantalla en cualquier punto durante la medición, de tal modo que las mediciones relativas a este punto dato puedan determinarse. Esta función facilita mediciones comparativas o de paso. Cuando se realiza el fijado del cero, el punto de origen puede perderse o conservarse, lo que dependerá del modelo del instrumento de medición. En muchos casos la función de fijado del cero también se utiliza para borrar errores o mensajes de alarma.

Algunos ejemplos de aplicación con el calibrador electrónico se muestran en las figuras 11.10 a 11.15.

##### (1) Medición comparativa

Poner a cero sobre un patrón (exterior o interior); la desviación de la nominal se muestra directamente.

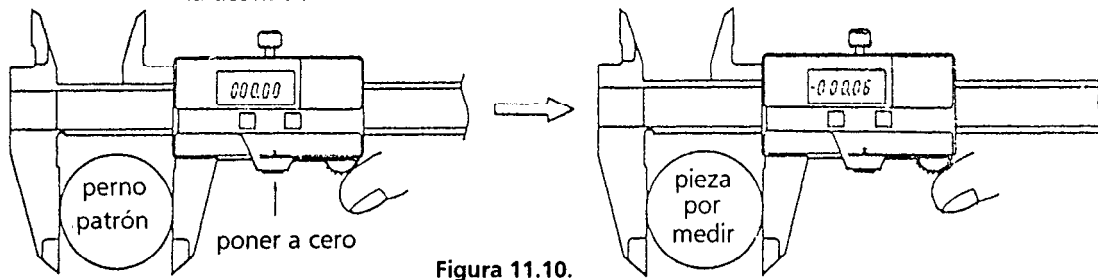


Figura 11.10.

##### (2) Midiendo el juego entre eje y agujero

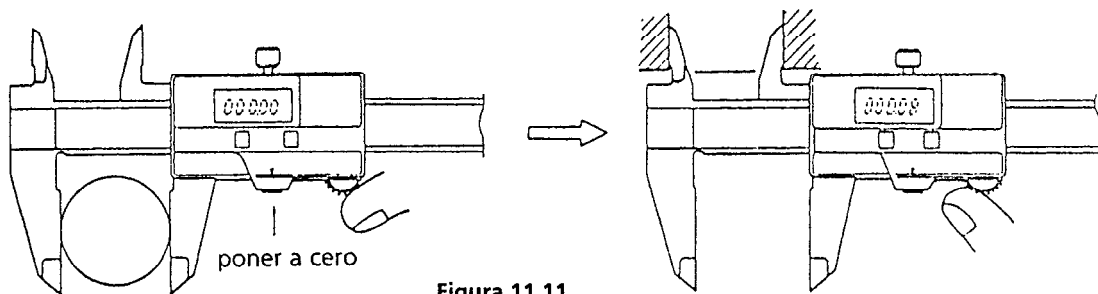


Figura 11.11.

(3) Midiendo espesor de pared

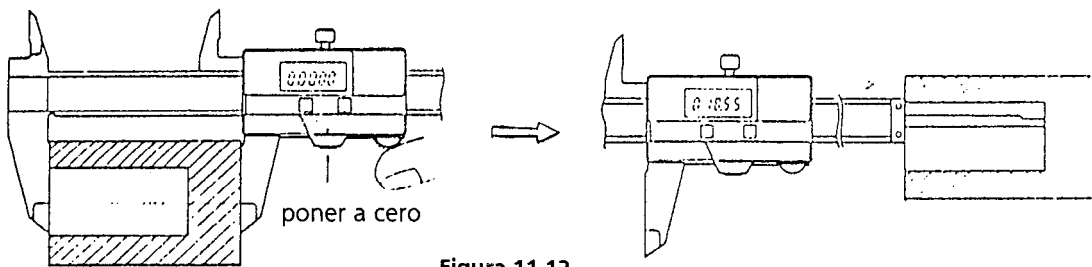


Figura 11.12.

(4) Medición de paso de agujeros o ranuras de las mismas dimensiones

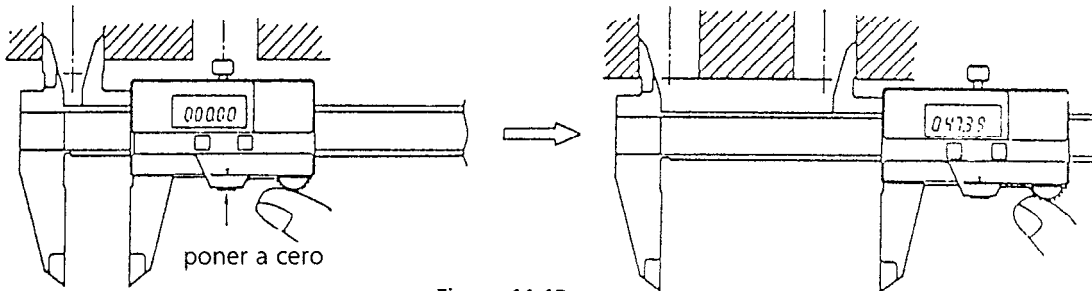


Figura 11.13.

(5) Medición del paso de pernos del mismo diámetro

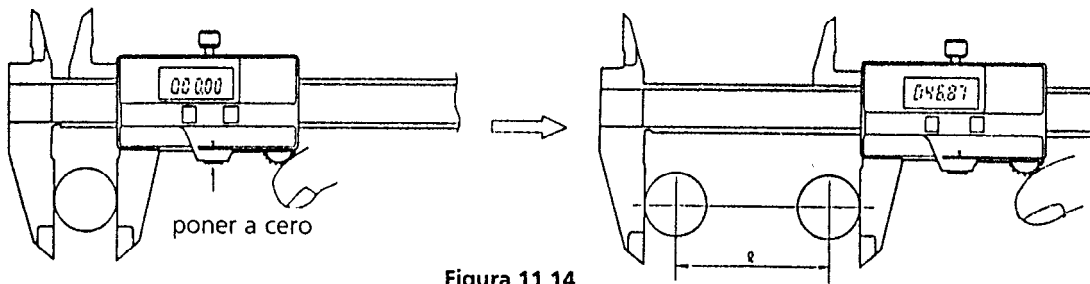


Figura 11.14.

(6) Medición con la pantalla volteada

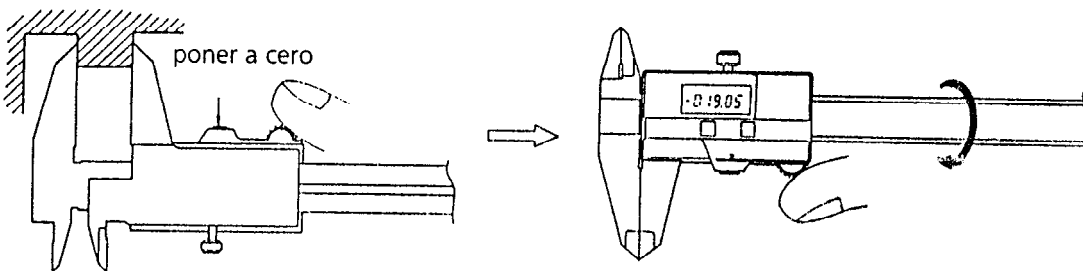


Figura 11.15.

5. *Restauración de origen (regreso al modo ABS).*

Si el punto de origen se fijó al principio de la medición, esta función permite mostrar en pantalla la distancia absoluta desde el origen, aun después de fijar el cero.

Algunos instrumentos tienen dos sistemas de medición: ABS (absoluto) e INC (incremental), los cuales se usan selectivamente de acuerdo con los requerimientos de medición. Una señal de modo ABS o INC se muestra en la pantalla para indicar en qué modo de medición se está. En otros modelos aparece un cursor bajo la indicación ABS o INC, según corresponda. A continuación se describe cada modo, refiriéndose a un medidor de alturas.

**A. Modo ABS**

Después de colocar el trazador con la fuerza adecuada sobre la superficie de referencia, asegúrese de que la señal ABS aparezca en la pantalla junto con la indicación cero (0.00 mm). Esto hará que la posición del cursor (o posición del trazador) sea el origen (cero absoluto) de la medición.

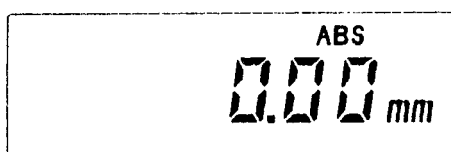


Figura 11.16.

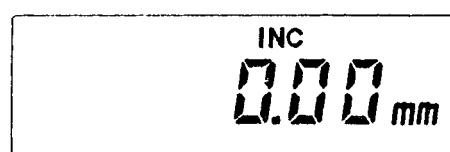


Figura 11.17.

**B. Modo INC**

Cuando el instrumento está en el modo ABS, presione la tecla del cero y el signo INC aparecerá en la pantalla junto con el valor cero, el cual es un cero flotante (Fig. 11.17).

En el modo INC es factible utilizar cualquier posición deseada como cero, mediante la tecla del cero, y tomar medición de escalonamientos. La función de prefijado también puede utilizarse en el modo INC. (El valor prefijado no se almacena en la memoria, a diferencia de la función de prefijado en el modo ABS.)

**C. Cambiando del modo INC al modo ABS**

Si se mantiene presionada la tecla ABS mientras la pantalla está en el modo INC, el modo cambia al ABS y la pantalla muestra la posición actual del trazador como medida desde el origen (cero absoluto), esto es, el origen fijado en el sistema ABS permanece válido a menos que el instrumento sea apagado.

**D. Aplicación**

Para tener una imagen clara de cómo operan los modos ABS e INC, supongamos que deseamos tener las mediciones correspondientes a las alturas  $H_1$ ,  $H_2$

y  $H3$  así como los escalonamientos  $P1$ ,  $P2$  y  $P3$  de una pieza como la de la figura 11.18.

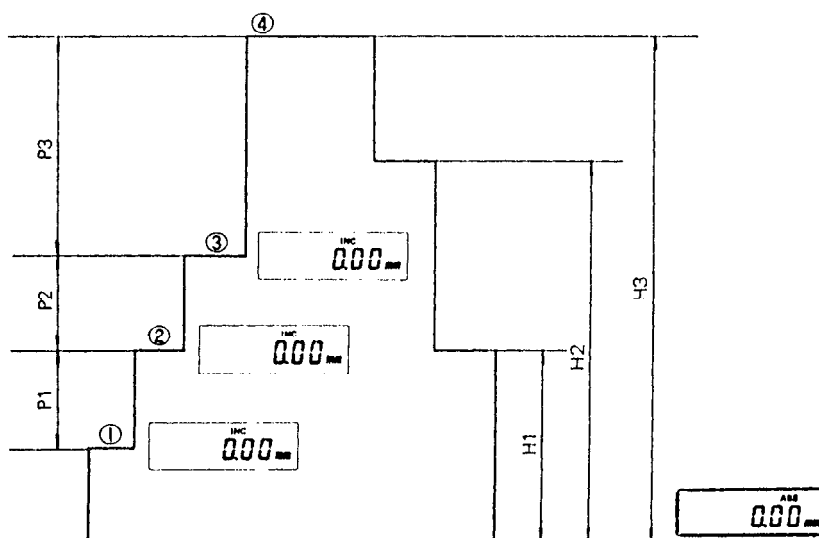


Figura 11.18.

El sistema ABS se utiliza para  $H1$ ,  $H2$  y  $H3$ .

- 1° Determine el origen (cero absoluto) sobre la mesa de granito encendiendo el instrumento con el trazador colocado adecuadamente sobre la mesa.
- 2° Sucesivamente, tome las mediciones  $H1$ ,  $H2$  y  $H3$  colocando el trazador en forma adecuada sobre las superficies correspondientes.

El sistema INC se utiliza para  $P1$ ,  $P2$  y  $P3$ .

- 1° Coloque adecuadamente el trazador sobre el punto medido ① y oprima la tecla del cero. La pantalla cambia al modo INC y el sistema INC se fija a cero (cero flotante).
- 2° Coloque bien el trazador sobre la superficie ② y la pantalla muestra el valor de  $P1$ , presione de nuevo la tecla del cero.
- 3° La pantalla muestra el valor de  $P2$  cuando el trazador se coloca adecuadamente sobre la superficie ③, en la misma forma también se puede tomar la medición  $P3$ .
- 4° Cuando se presiona la tecla ABS con el trazador colocado adecuadamente sobre la superficie ④, la pantalla cambia al modo ABS y muestra la altura  $H3$ .



En algunos instrumentos las teclas del cero y ABS están en una sola, oprimiendo y soltándola se pone cero en INC; si mantenemos oprimida la tecla durante algunos segundos cambia al modo ABS (Fig. 11.19).

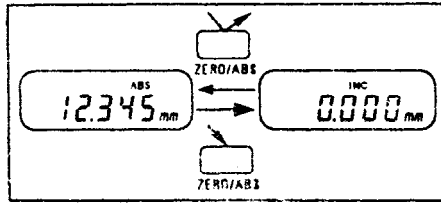


Figura 11.19.

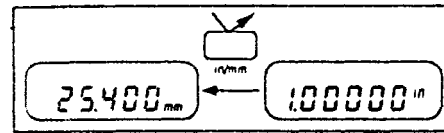


Figura 11.20.

6. Selección pulg/mm.

Ésta es utilizada para cambiar la unidad de medición entre pulgadas y milímetros. Muy pocos instrumentos de medición requieren fijar el origen cada vez que se hace el cambio pulg/mm (Fig. 11.20).

7. Cambio de dirección.

Utilizado para cambiar la dirección de conteo con respecto a la de movimiento del detector, algunos tipos de instrumentos de medición requieren esta función (Figs. 11.21 y 11.22).

8. Modo mantener (congelar en pantalla).

Esta función congela en la pantalla un valor medido. Mientras el detector continúa moviéndose, el conteo del desplazamiento del detector continúa internamente, así que al eliminar el modo mantener puede obtenerse la posición actual del detector. Según el sistema, el modo mantener se activa

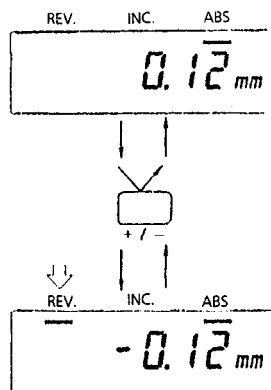


Figura 11.21.

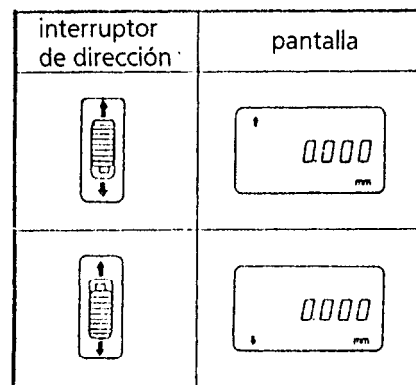
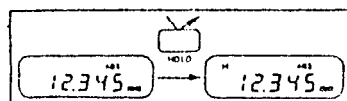
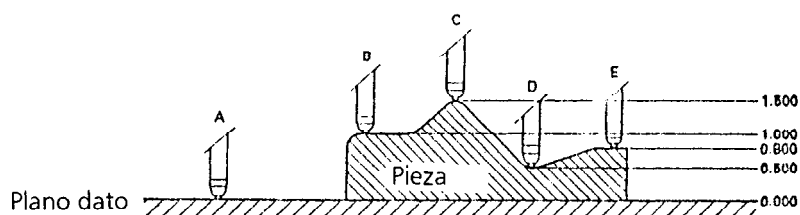


Figura 11.22.


**Figura 11.23.**

MODO	PANTALLA	DESCRIPCIÓN
Medición normal	1 	La distancia de la superficie medida desde el plano dato se mide y muestra en pantalla.
	2 	
	3 	
Modo de mantener máximo		La altura máxima de la superficie medida desde el plano dato se mantiene y muestra en pantalla. (Los números mostrados indican el resultado del ejemplo de medición ilustrado abajo.)
Modo de mantener mínimo		La altura mínima de la superficie medida desde el plano dato se mantiene y muestra en pantalla. (Los números mostrados presentan el resultado del ejemplo de medición ilustrado abajo.)
Medición de cabeceo ( <i>runout</i> )		La diferencia de las alturas máxima y mínima de las superficies medidas se muestra en pantalla. (Los números mostrados manifiestan el resultado del ejemplo de medición ilustrado abajo.)

\* Recorra la superficie del punto B al punto E para cada modo de medición.


**Figura 11.24.**

manualmente, utilizando una tecla, o se dispara automáticamente cuando el palpador toca un punto medido (Fig. 11.23).

9. *Modo de mantener pico (congelar en pantalla el valor máximo o el mínimo).*

Esta función permite retener en pantalla el valor máximo o mínimo durante una medición continua (Figs. 11.24 y 11.25).

10. *Medición de cabeceo [Modo FIM (movimiento total de indicador)].*

Utilizado para obtener en pantalla la diferencia entre los valores máximo y mínimo retenidos con el modo de mantener pico (Figs. 11.24 y 11.25).

11. *Fijado de tolerancia y juicio pasa-no pasa.*

Esta función muestra o proporciona un juicio pasa-no pasa para cada medición, de acuerdo con el prefijado de los límites de tolerancia superior e

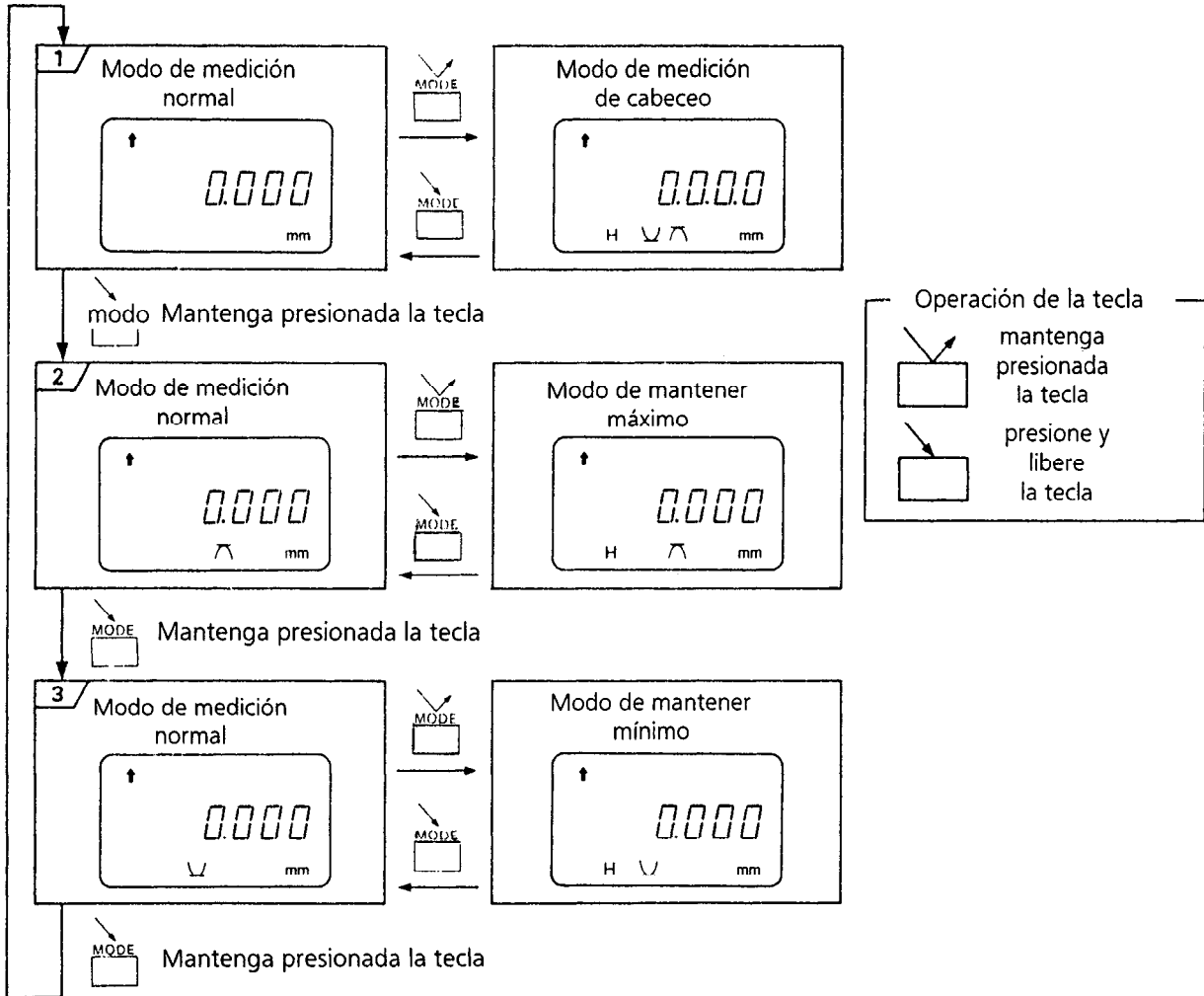


Figura 11.25.

inferior. Hay dos métodos de fijar tolerancia: tecleando los valores límite y fijando el instrumento para mostrar los límites superior e inferior utilizando patrones.

La figura 11.26 muestra un indicador electrodigital que cuenta con esta función, y la figura 11.27 ilustra cómo es indicado en la pantalla.

## 12. Cálculos estadísticos.

Esta función se utiliza para realizar cálculos estadísticos de las mediciones y mostrar los resultados en pantalla. Los parámetros estadísticos incluían el tamaño de muestra, los valores máximo y mínimo, la media y la desviación estándar. Algunas unidades proporcionaban parámetros adicionales: la fracción defectiva y el índice de capacidad de proceso; actualmente sólo es posible obtenerlos por medio de microprocesadores o computadoras personales con más información estadística.

## 13. Salida de datos.

Los datos medidos, el juicio pasa-no pasa y los resultados de cálculos estadísticos pueden enviarse a dispositivos periféricos como una impresora y un procesador de datos. Según el sistema de datos utilizado, la salida de

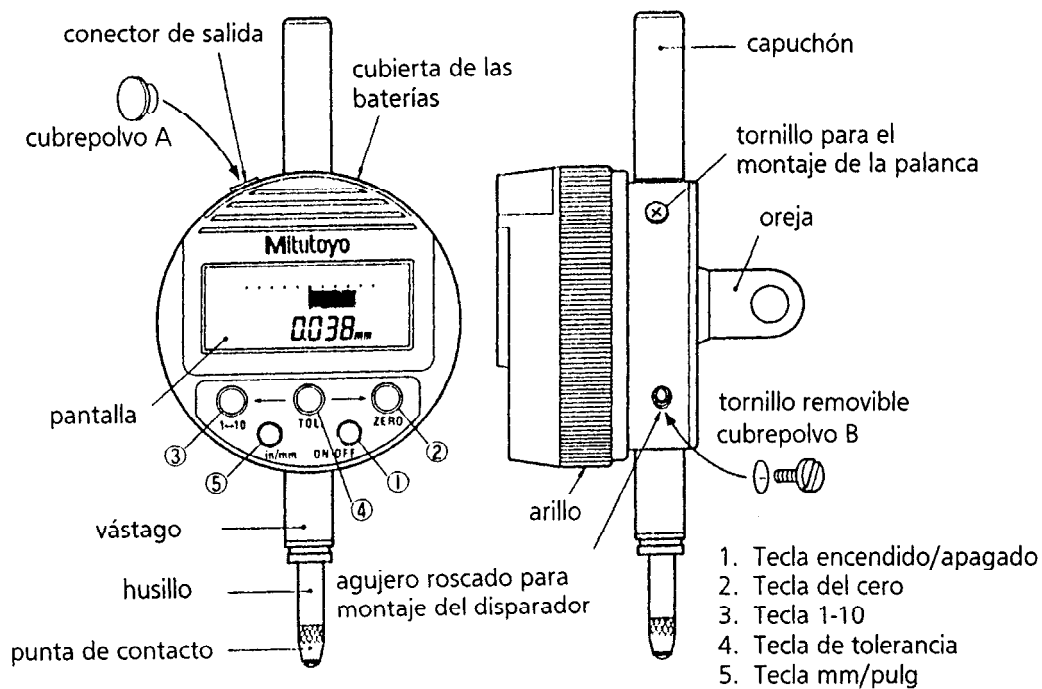
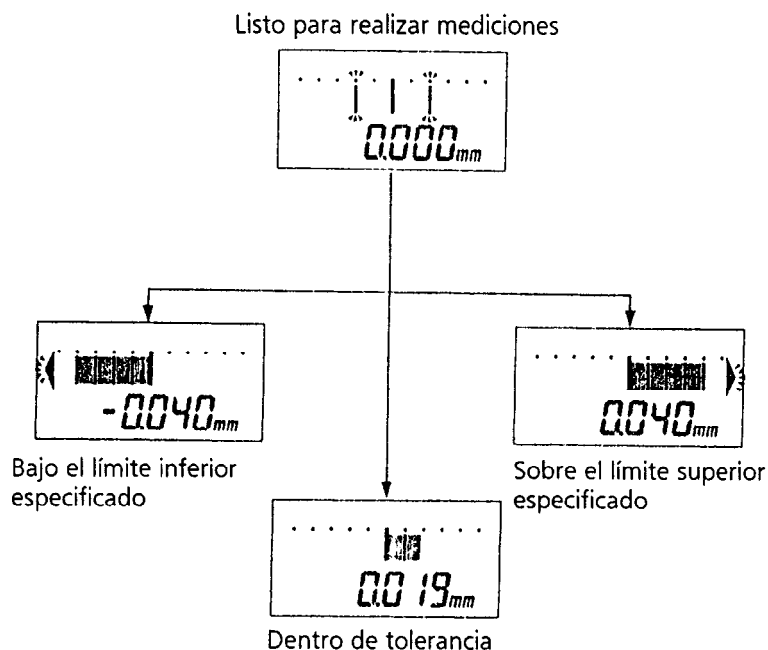


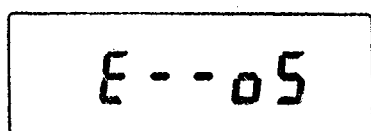
Figura 11.26.



⚡: Este signo indica parpadeo

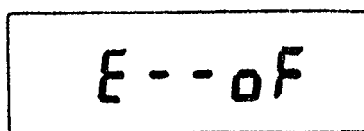
Figura 11.27.

éstos puede iniciarse empleando un interruptor sobre el instrumento de medición sobre el dispositivo periférico o desde ambos. Recientemente ha sido creado un sistema inalámbrico para enviar el comando de salida de datos con rayos infrarrojos u ondas de radio. La salida de datos de los instrumentos de medición electrodigital en la mayoría de los casos requieren una interfase para convertirla a RS 232C.



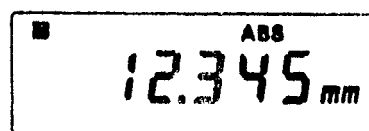
Error por exceso de velocidad

Figura 11.28.



Error por rebasar la capacidad de conteo

Figura 11.29.



Señal de bajo voltaje de batería

Figura 11.30.

14. *Alarma de lectura errónea.*

El contador tiene una cierta velocidad límite para registrar datos. Una alta velocidad de movimiento del detector puede causar errores. Existe también la posibilidad de obtener una lectura errónea debido a interferencia eléctrica. Esta función se utiliza para evitar lecturas erróneas porque muestra en pantalla un mensaje de error cuando la velocidad del detector excede cierto límite (Fig. 11.28).

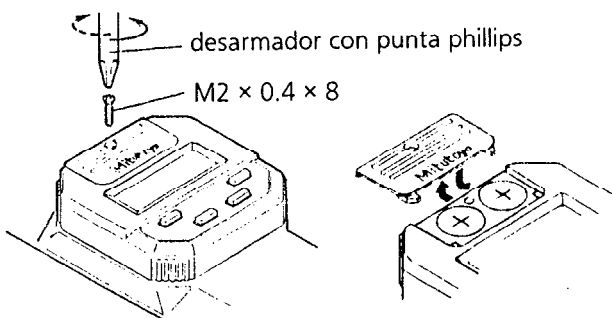
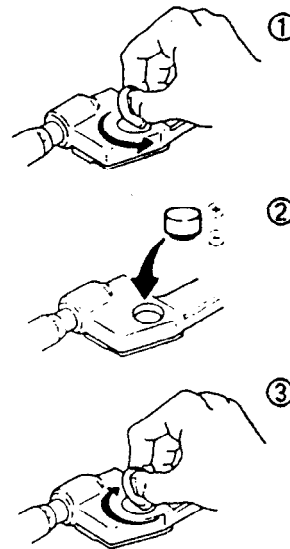
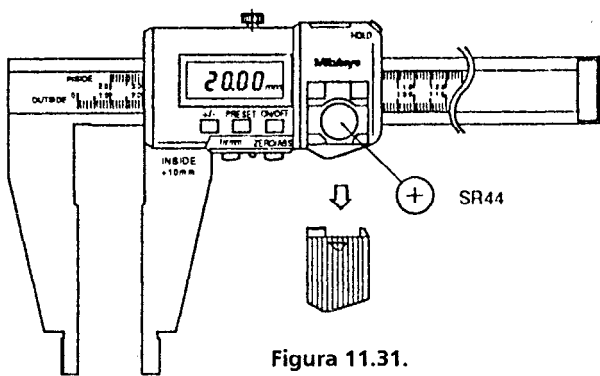
15. *Alarma de bajo voltaje de batería.*

En los instrumentos que funcionan con batería aparece un mensaje de alarma cuando el voltaje de la batería baja hasta cierto nivel.

El cambio de batería es bastante simple, como puede apreciarse en las figuras 11.31, 11.32 y 11.33.

16. *Control remoto.*

Esta función permite ejecutar comandos, como fijado de cero, prefijado, mantener en pantalla, salida de datos y fijado de tolerancias, desde una



1. Ventana emisora (rayos infrarrojos)
2. Teclas numéricas
3. Tecla de prefijado
4. Tecla para fijar el límite superior especificado
5. Tecla para fijar el límite inferior especificado
6. Tecla para liberar el modo pasa/no pasa
7. Tecla para pasar las condiciones de operación al indicador electrodigital
8. Tecla del número de identificación del indicador electrodigital
9. Tecla para enviar mismo comando a todos los indicadores electrodigitales usados
10. Caja para las baterías
11. Tecla de modo
12. Tecla de máximo
13. Tecla de mínimo
14. Tecla del cero
15. Tecla de salida de datos
16. Tecla de pedir valores máximos o mínimos después de la medición de cabeceo (*runout*)
17. Tecla para medición de cabeceo (*runout*) (FIM)
18. Tecla para volver al modo normal

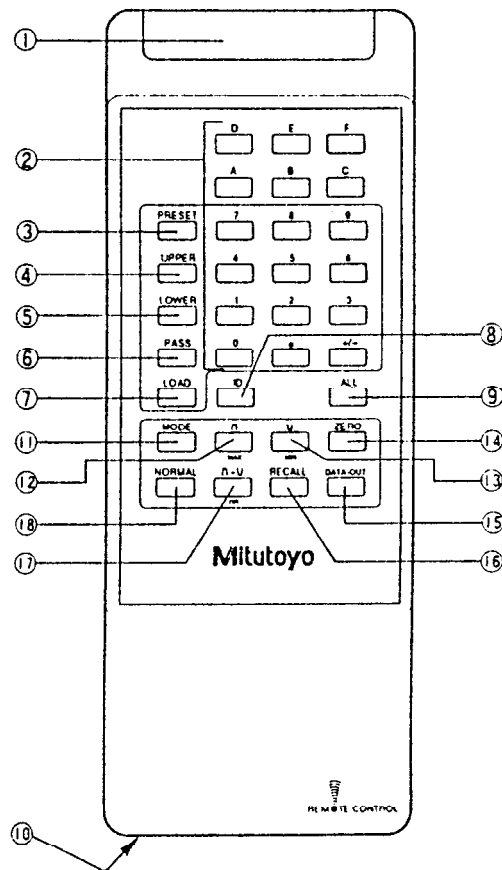


Figura 11.34.

unidad de control remoto. La unidad de control puede estar conectada al instrumento de medición con un cable o ser inalámbrica, si utiliza rayos infrarrojos (Fig. 11.34).

El control remoto mostrado en la figura 11.34 corresponde al indicador electrodigital mostrado en la figura 11.35, al cual corresponden las indicaciones mostradas en las figuras 11.22 y 11.24 y 11.25.

Debe tenerse presente que no todos los instrumentos poseen todas las funciones que se han descrito, sino que cada uno está dotado con las que son útiles para el trabajo al que normalmente se destinan, por tanto, debe tenerse cuidado al seleccionar el instrumento adecuado para una aplicación particular. Un ejemplo indiscutible lo constituye el indicador electrodigital, ya que existen modelos con muy pocas funciones o como el que muestra la figura 11.35 y que posee múltiples funciones cuando se lo utiliza con el control remoto, con el cual incluso el prefijado es más sencillo pues se cuenta con las teclas numéricas.

1. Vástago
2. Tornillo de sujeción de soporte
3. Punta de medición
4. Interruptor encendido/apagado
5. Cubierta del interruptor para fijar el núm. de indicador
6. Interruptor de cambio de dirección
7. Interruptor de cambio mm/pulg
8. Agujero para montar el disparador
9. Tecla de cero
10. Tecla de cambio de modo
11. Pantalla
12. Lámpara de recepción lista
13. Ventana de recepción
14. Capuchón
15. Conector de salida
16. Conector para fuente de poder

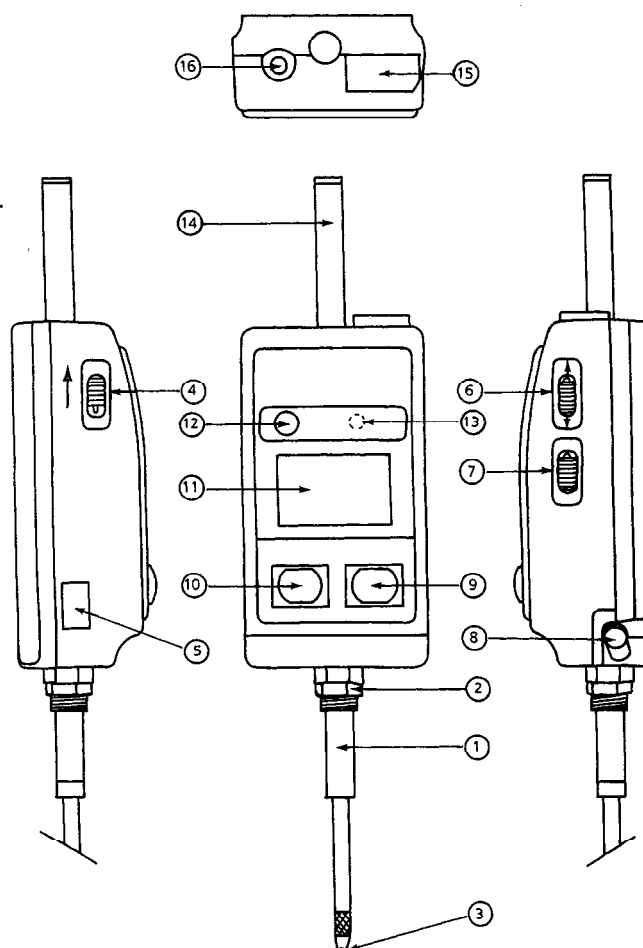


Figura 11.35.

## SISTEMA M-SPC

### Introducción

Como se mencionó en la primera parte de este capítulo, los instrumentos de medición digital fueron introducidos porque:

1. No se necesita experiencia para leer los valores medidos.
2. La medición puede realizarse aun con baja intensidad luminosa.
3. No ocurren errores al leer la más pequeña graduación sobre el cilindro del micrómetro (0.5 mm para el tipo métrico).



Las ventajas de los instrumentos electrodigitales de medición superan esto con muchas funciones adicionales con las cuales no cuentan los instrumentos analógicos convencionales; por ejemplo, la función de juicio pasa-no pasa, lo cual habilita al operador para inspeccionar instantáneamente cada producto cuando sale de la línea de producción. Dado que la tendencia actual en la industria es hacia el control computarizado de todo el proceso de producción, la función de salida de datos de instrumentos electrodigitales ha asumido, en la actualidad, un nuevo papel muy importante. Hay instrumentos que no sólo son útiles para verificar productos terminados, sino que permiten controlar el proceso a través de la inspección en la línea de producción con el objeto de minimizar el número de productos defectuosos.

El SPC (Control estadístico del proceso) es un sistema integral de herramientas de medición y unidades procesadoras de datos para el control estadístico de calidad de productos por medio del control del proceso de producción. El sistema Mitutoyo de control estadístico del proceso (Sistema M-SPC) integra una gran variedad de instrumentos de medición dentro de un sistema que comprende el control del proceso. Todos los instrumentos electrodigitales utilizan un formato estándar de salida de datos, el cual permite conectarlos con unidades comunes de procesamiento de datos con el objeto de construir un sistema M-SPC. Las siguientes secciones delinean los tipos estándar de procesamiento de datos, las unidades de colección y la transmisión utilizadas en los sistemas M-SPC.

### Miniprocesador (Fig. 11.36)

Éste es un procesador de datos autónomo que proporciona el procesamiento estadístico de los datos medidos con una operación simple. El procesador cuenta

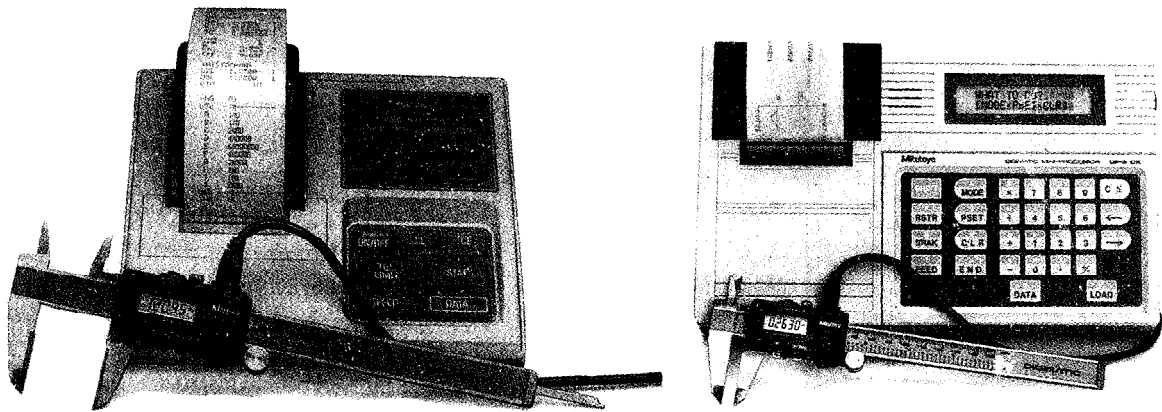


Figura 11.36. Miniprocesador.



Figura 11.37. Sistema de procesamiento.

con un conjunto de programas integrados. Los operadores pueden realizar el procesamiento requerido de los datos sin ningún conocimiento especial de programación.

Se describen los dos tipos de miniprocesadores que siguen:

- a) DP-1HS
- b) DP-7

Consúltense en la tabla 11.2 las funciones y especificaciones de cada procesador.

### Unidad de transmisión de datos

Los siguientes sistemas se utilizan para transferir datos medidos desde un instrumento electrodigital a una computadora personal.

#### *Sistema de procesamiento por lote (Fig. 11.20)*

En este sistema los datos se almacenan en un dispositivo conforme se realizan las mediciones y después se descargan en lote en una computadora para realizar el procesamiento de datos. El sistema consiste de dos unidades: una almacena los datos (*data logger*) y otra los transmite (*data transmitter*).

- Data logger DL-10  
Máximo número de datos almacenados: 100  
Número de características: 1-10\*

\* El número de características significa el número de partes medidas en una pieza. El fijado del número de características se utiliza cuando más de una característica se mide en cada pieza.

**Tabla 11.2.** Funciones de los miniprocesadores DP-IHNS y OP-7

Función		Modelo	DP-1HS	DP-7
Número de canales			1	2
Modo de control de carta (SPC)			O	O
Aplicación	• Tamaño de muestra		2 a 10	2 a 25
	• Número de subgrupos		35 máx.	2 a 25
	Modo de inspección (SQC)		O	O
• Número de datos			1000 máx.	2400 máx.
Número de características dimensionales			1	2 máx.
Prefijar dato en instrumento (ID, LG, LGA)			—	O
Fijado de tolerancia al instrumento (ID, LG, LGA)			—	O
Cálculo de mediciones con una constante			—	—
Compensación de efecto térmico en las mediciones			—	—
Calcular diferencia entre dos mediciones			—	—
Tecleado de datos medidos			—	O
Fijado de límites de tolerancia			O	O
Impresión (impresora integrada)			O	O
Datos medidos				
Resultado de cálculos marcados con ( )			—	—
Discriminación pasa-no pasa		▲ (+NG), ▼ (-NG)	O	—
Número de mediciones		N	O	O
Valores máx. y mín.		MÁX, MÍN.	O	O
Rango		R	O	O
Valor medio		$\bar{x}$	O	O
Desviación estándar		$\sigma_n$	O	—
Desviación estándar		$\sigma_{n-1}$	O	O
Fracción defectiva		F. D.	O	—
Fracción defectiva estimada		ZUSL, ZLSL	—	O
Índice de capacidad de proceso		Cp	O	O
Índice de habilidad de proceso		Cpk	O	O
Índice de habilidad de proceso		I/CP	—	O
Kurtosis			—	—
Sesgo			—	—
Histograma			O	O
Valores de límite de control			O	O
Cartas de control $\bar{X}$ -R			UCL, LCL	O
Cartas de control $\bar{X}$ -S			—	O
Encabezados			Alfabético	Alfanumérico
Fecha y hora			Sólo título	O
Nombre o núm. de parte			Sólo título	O
Nombre o núm. de máquina			—	O
Nombre o núm. de inspector			Sólo título	O
Selección de datos a ser impresos			—	—
Alarma de señal de salida (Sobre LSE, bajo LIE)			—	O
Impresora integrada			Si	Graficador tipo XY (4 colores)
Fuente de poder	Adaptador AC		9VDC, 0.8A	10VDC, 1.2A
	Baterías recargables		—	—
	al instrumento (ID, LG, LGA)		O	O

Contenido de la pantalla: número de entrada, número de características, dato medido.

Fuente de poder: LR6 4 piezas.

Vida de la batería: aprox. 30 h en uso continuo.

Disminución automática de corriente 10 minutos después de la última operación (los datos son retenidos en memoria).

- Data transmitter DT-10.

Especificación de salida: interfase RS-232C, opción de Baud rate (300, 600, 1200, 2400 bps).

Fuente de poder: 100 V AC, 50/60 Hz.

*Sistema de procesamiento de datos en línea (Fig. 11.38)*

En este sistema el dato medido en un área de trabajo es transmitido inmediatamente a la computadora personal a través de un cable. Un multiplexor digimatic MUX-10 o MUX-40 se utiliza para transmisión de datos.

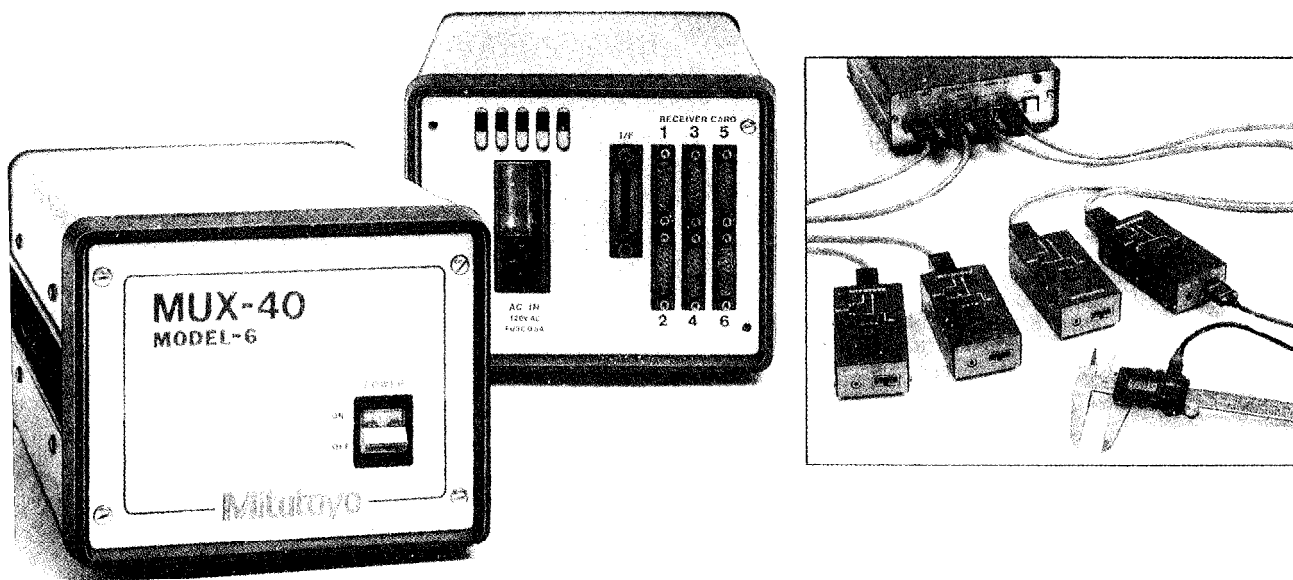


Figura 11.38.

- Multiplexor MUX-10

Especificación de salida: Interfase RS232C

Opciones de Baud Rate  
MUX-10 (300, 600, 1200 bps)  
Número de canales de entrada: 3  
Fuente de poder: 100 VAC, 50/60 Hz

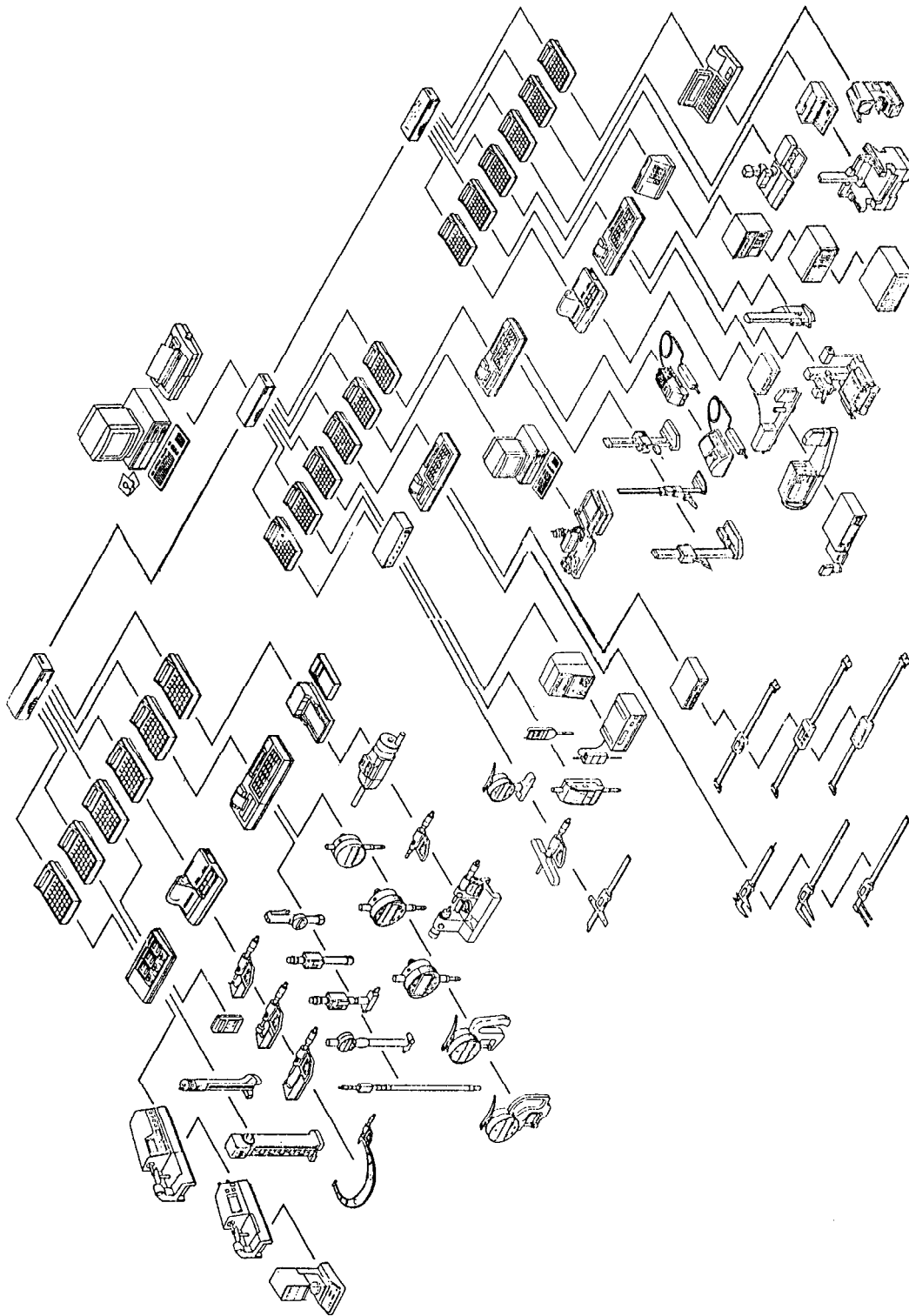
### *Combinación de ambos sistemas*

El DP-7 puede utilizarse para almacenar datos que después pueden introducirse a una computadora personal mediante un cable de interfase o procesar los datos en la misma área de trabajo en que se realizan las mediciones.

### **Diagrama de configuración del sistema M-SPC**

Hemos presentado algunos modelos representativos de los instrumentos electrodigitales de medición y las unidades de colección, transmisión y procesamiento. Además de éstos, existen muchos otros miembros que forman el sistema M-SPC, como se muestra en el siguiente diagrama del sistema, y se espera que aumenten más en el futuro.

En las páginas siguientes se muestran ejemplos de la impresión de resultados en los microprocesadores y del programa que puede manejarse en la computadora personal, así como un diagrama de opciones y otros microprocesadores para operación en tiempo real.



```

*NEW LIMIT DATA*
LSL 9.950 M
USL 10.050 M
TOL 0.100 M

1 10.000 M
2 10.013 M
3 10.022 M
4 9.993 M
5 10.007 M
6 10.015 M
7 10.053 M
8 10.008 M
9 9.994 M
10 9.978 M
11 9.987 M
12 9.946 M
13 10.005 M
14 10.010 M
15 9.800 M
*CANCEL*
15 10.016 M
16 10.003 M
17 9.982 M
18 10.003 M
19 9.982 M
20 10.003 M
21 10.018 M
22 10.031 M
23 10.011 M
24 9.998 M
25 9.987 M
26 9.995 M
27 9.995 M
28 9.995 M
93 10.015 M
94 10.000 M
95 10.006 M
96 9.993 M
97 10.001 M
98 10.032 M
99 10.14 M
100 10.004 M

```

```

*NEW LIMIT DATA*
LSL 9.950 M
USL 10.050 M
TOL 0.100 M

L C U
10.000 | * |
10.013 | * |
10.022 | * |
9.993 | * |
10.001 | * |
9.993 | * |
10.010 | * |
10.014 | * |
10.029 | * |
10.004 | * |
10.000 | * |
9.991 | * |
9.972 | * |
9.968 | * |
9.952 | * |
9.933 | * |
9.946 | * |
9.964 | * |
9.980 | * |
9.983 | * |
10.001 | * |
20 10.008 | * |
10.026 | * |
10.049 | * |
10.017 | * |
10.012 | * |
10.001 | * |
9.990 | * |
9.982 | * |
9.986 | * |
9.992 | * |
9.994 | * |
10.005 | * |
9.999 | * |
100 10.000 | * |

```

```

101 1 10.05
101 2 10.04
101 3 10.07
101 4 10.05
101 5 10.06

CHR 101
x 10.0540
R 0.0300
TIME 02/01/91 18:10

CHR CODE 101
( 483 )

101 5 10.05

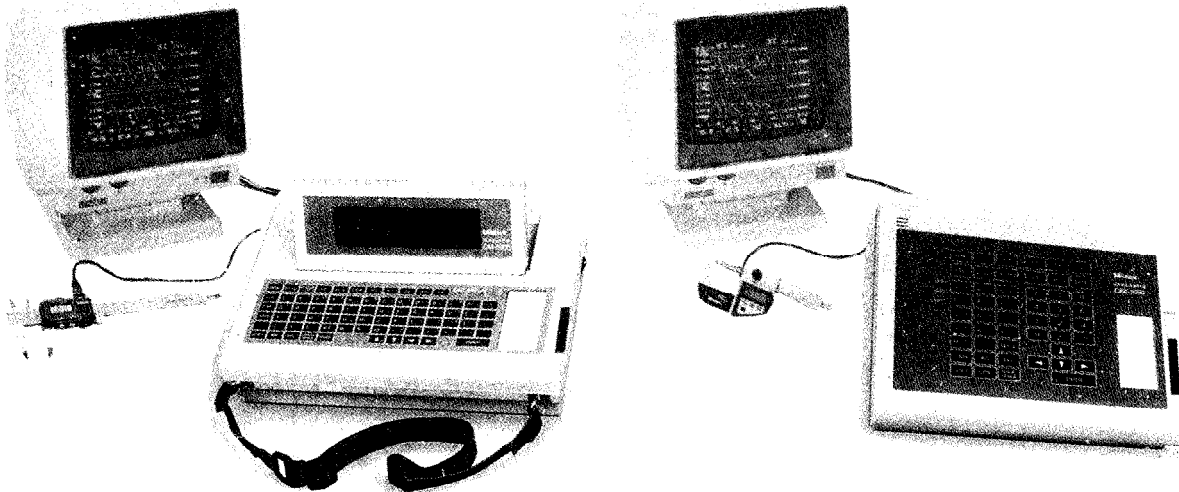
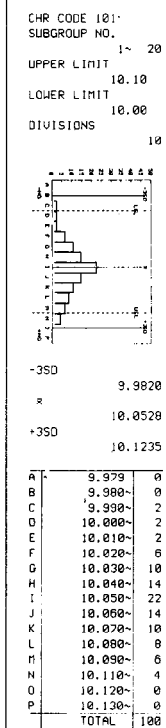
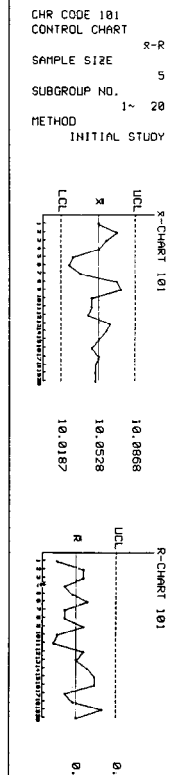
CHR 101
x 10.0520
R 0.0600
TIME 02/01/91 18:24

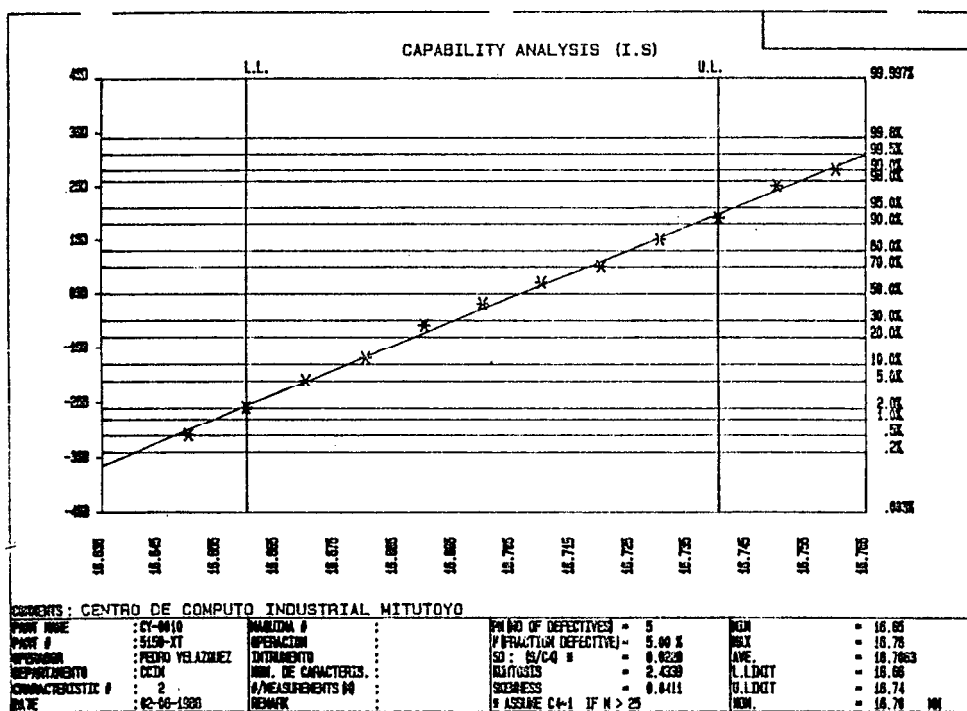
CHR CODE 101
CONTROL CHART x R

SAMPLE SIZE 5
SUBGROUP NO. 1~ 20
METHOD INITIAL STUDY

MAXIMUM 10.11
MINIMUM 9.89
RANGE 0.12
MEAN 10.0528
DEVIATION (R) 0.0253
Cp 0.65/
Cpk 0.620
Cm 0.64/
Cmk 0.611

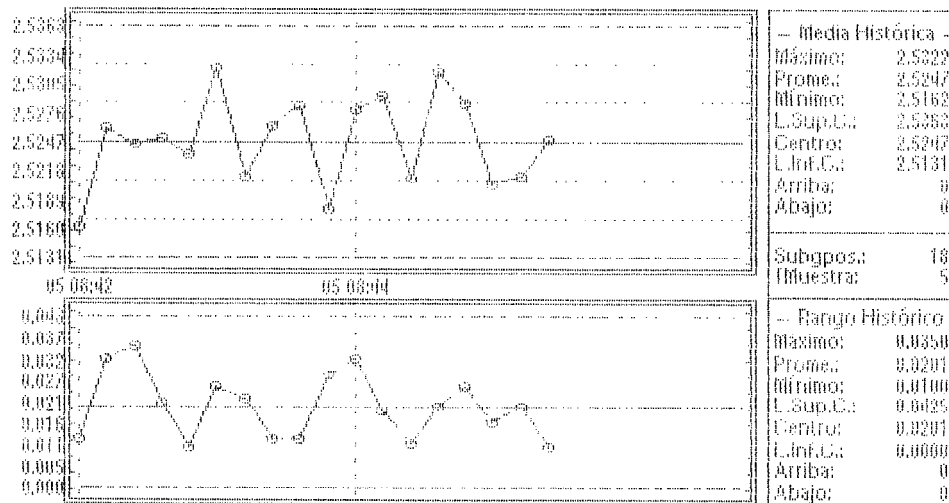
```



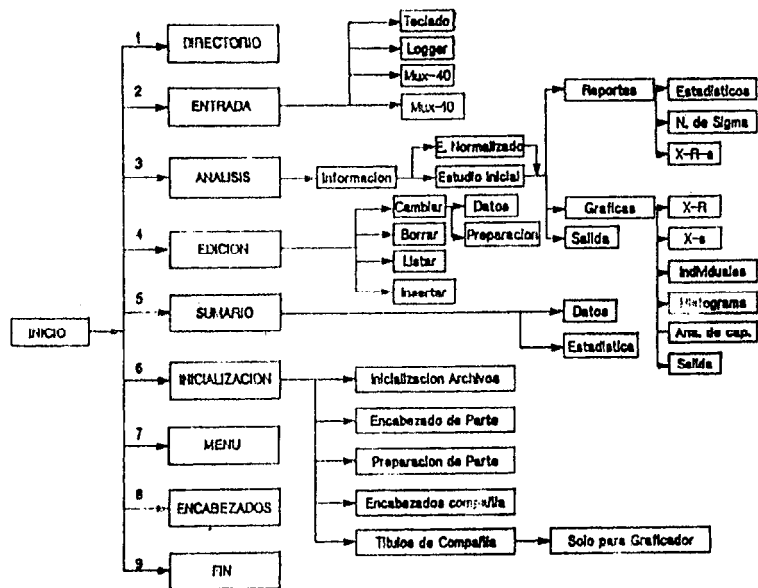


Gráfica de Control Variables. PERNO  
LABORATORIO DE METROLOGIA DIAMETRO  
TORNO  
MEDICION DEL PERNO

laboratorio Mexicana  
Del 05/Jul/95 08:42  
at 05/Jul/95 08:50  
02/dagm/fmp/dva - 024/dia01

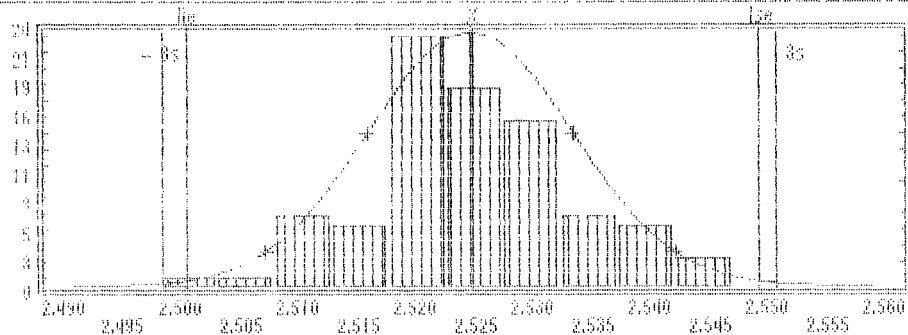






Histograma de Frecuencia,  
LABORATORIO DE METROLOGIA PERNO  
TURNO DIAMETRO  
MEDICION DEL PERNO

Instituto Mexicana  
Del 05/Jul/95 08:42  
al 05/Jul/95 08:50  
02/darrr/hnp/dra - 02/d/dia01



Número de Datos	90	Límite Esp. Inf./Sup.	2.5000 / 2.5500
Media	2.5247	Valores -- 3s / + 3s	2.4979 / 2.5516
Desv. Estándar (s)	0.0089	Rango	0.12
Variancia (s²)	0.008	Anderson - Darling	0.420 Normal
Capacidad (Cp = tol/6s)	0.932	Especificación:	
Variable Z (ie / 1se)	2.767 / 2.825	Debajo	99.48 %
Habilidad (Cpk = Z / 3)	0.922	Arriba	0.28 %
		Fuera	0.24 %

## CUIDADOS QUE REQUIEREN LOS INSTRUMENTOS ELECTRODIGITALES DE MEDICIÓN

Los instrumentos electrodigitales pueden utilizarse en tantas condiciones ambientales diferentes como los instrumentos convencionales. Incluso puede utilizarse en condiciones adversas, por ejemplo: en líneas de producción. Estos instrumentos electrodigitales requieren los mismos cuidados que los instrumentos de medición convencionales. Además, y debido a que los instrumentos electrodigitales tienen sensores de alta exactitud y dispositivos electrónicos, requieren cuidados adicionales durante su manejo y especial atención a las condiciones ambientales en las cuales se utilizan.

### Cuidados que requieren los instrumentos de medición

Los instrumentos electrodigitales están libres de errores de lectura y paralaje. Con respecto a otros puntos de exactitud de medición, deben tenerse los mismos cuidados que para los instrumentos convencionales; los principales son:

- De acuerdo con el principio de Abbe, la máxima exactitud sólo puede obtenerse cuando el eje del instrumento está en línea con el eje de la pieza que está siendo medida. Por lo tanto, es importante que el instrumento de medición tenga el mínimo de inclinación o desalineamiento y la distancia mínima entre el eje de la escala y el punto medido.
- Las dimensiones de una pieza varían debido a la posición de los puntos de soporte (puntos Airy o Bessel).
- El punto cero de un instrumento de medición también varía según la forma en que esté soportado y orientado.
- Los instrumentos de medición se deflexionan debido a la fuerza de medición (Ley de Hooke, deformación Hertz, la longitud del brazo de soporte). La fuerza de medición aplicada deberá, por tanto, mantenerse constante. También es necesario que el instrumento de medición esté asegurado con dispositivos rígidos.
- La influencia de la temperatura. Los instrumentos de medición se calibran a su exactitud designada obtenida a 20°C (temperatura estándar). A otras temperaturas de acuerdo con los requerimientos de exactitud, son necesarias contramedidas como compensación para las temperaturas del instrumento de medición y la pieza.
- La temperatura de los instrumentos de medición se eleva cuando se los sostiene con la mano, lo que causa una expansión térmica localizada.
- En temperaturas ambiente que cambian con rapidez la repetibilidad de las mediciones no puede asegurarse. Cuando un instrumento de medición es llevado de un lugar a otro donde hay una diferencia significativa en temperatura, es necesario dejarlo ahí por lo menos dos horas antes de que se estabilice a la nueva temperatura.

- Con el objeto de minimizar errores, el fijado de la referencia y la medición deben realizarse en condiciones similares tanto como sea posible.

Para instrucciones detalladas véanse los capítulos sobre micrómetros tipo mecánico, calibradores vernier e indicadores de carátula.

## **Cuidados específicos que requieren los instrumentos electrodigitales**

### **1. Temperatura**

- a) Rango de temperaturas de almacenamiento:  $-20$  a  $60^{\circ}\text{C}$ .  
En los instrumentos electrodigitales hay partes de materiales diferentes (plásticos y metales) que están pegados y que en condiciones excesivamente severas de temperatura pueden dañarse debido a sus diferentes coeficientes de expansión térmica. Los papeles térmicos para impresión y las baterías se pueden deteriorar si se almacenan por largos periodos (Fig. 11.39).
- b) Rango de temperatura de operación:  $5$  a  $40^{\circ}\text{C}$   
Los componentes electrónicos de los instrumentos están diseñados para asegurar su operación y cumplir sus especificaciones de funcionamiento, características y confiabilidad dentro de este rango de temperatura. Tomar las mediciones a temperaturas diferentes de  $20^{\circ}\text{C}$  obliga a compensar por la diferencia de temperatura para determinar las dimensiones equivalentes a  $20^{\circ}\text{C}$ , según el instrumento de medición y la pieza se expandan o contraigan (Fig. 11.39).
- c) Máximo gradiente de temperatura:  $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .  
Los cambios significativos en la temperatura ambiente no sólo afectan la exactitud de la medición y la estabilidad dimensional, sino que también la condensación resultante puede dañar los instrumentos de medición al interferir con la detección del sensor y causar enmohecimiento. No utilice un instrumento de medición cerca de un calentador o en la luz solar directa.

### **2. Humedad**

No utilice instrumentos de medición en ambientes con humedad relativa alta por un periodo prolongado; esto con el fin de evitar la condensación (la cual interfiere con la detección por el sensor), la expansión de las partes hechas con materiales orgánicos y los efectos adversos en los circuitos eléctricos. Por otro lado, si la atmósfera es demasiado seca, la electricidad estática puede causar mal funcionamiento y lesiones al personal (Fig. 11.40).

### **3. Evitar la contaminación con aceite de corte \***

Asegúrese de que el instrumento de medición no esté contaminado con aceite de corte. Después de medir limpie el aceite que haya quedado sobre el instrumento de medición.

\* Líquidos refrigerantes utilizados en las herramientas de corte en los talleres y líneas de producción.

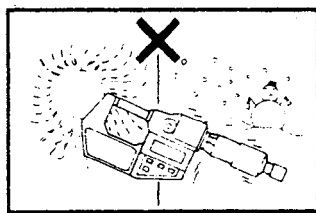


Figura 11.39.

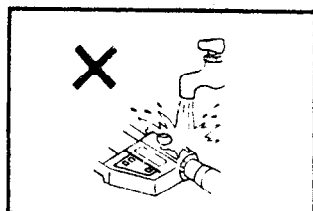


Figura 11.40

#### 4. La neblina de aceite y polvo son indeseables

Limpie frecuentemente la neblina de aceite y polvo de las partes móviles.

#### 5. Evite la exposición a rayos ultravioleta y a luz solar directa

No exponga los instrumentos de medición a los rayos ultravioleta, ya que deterioran las partes de plástico, la pantalla de cristal líquido (LCD), etcétera.

#### 6. La electricidad estática es indeseable

Los efectos de la electricidad estática varían de acuerdo con el tipo de instrumento de medición y el lugar donde ocurre la descarga eléctrica. Cuando una descarga ocurre directamente sobre la clavija conectora del puerto de salida de datos es posible que se transmitan datos erróneos.

Si la descarga estática es muy fuerte los componentes de los circuitos integrados (CI) pueden resultar dañados. Cuando la atmósfera es seca (especialmente en invierno) la tela de fibra sintética, el hule espuma y otros productos resinosos se electrifican con facilidad. En tales casos es necesario evitar la descarga estática aterrizando la pieza, el cuerpo y la ropa del operador, la mesa de trabajo y el instrumento de medición, tal como se muestra en la figura 11.41. Asegúrese de sujetar una resistencia al cable de tierra para protegerse de un choque eléctrico.

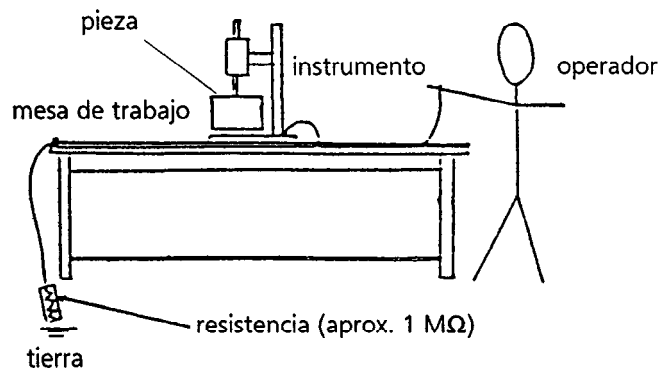


Figura 11.41. Aterrizado.

### 7. Interferencia eléctrica

- a) El valor límite de la interferencia de la fuente de poder varía con el tipo de instrumento de medición y el método de conexión.

La utilización de un adaptador AC (corriente alterna) puede causar errores debido a interferencia eléctrica de la fuente de poder. Éste también es el caso cuando el instrumento se conecta a una unidad procesadora de datos que utiliza AC, aun si el instrumento funciona con baterías. Cuando ocurran errores con frecuencia provea, separada del equipo que causa la interferencia, una fuente de poder exclusiva para el instrumento de medición y las unidades conectadas. (Las fuentes de interferencia incluyen motores, limpiadores ultrasónicos, máquinas que utilizan arco eléctrico, plumas eléctricas, etc.) Un regulador de voltaje también es efectivo para reducir la interferencia eléctrica.

- b) Fluctuaciones de voltaje de la fuente de poder: dentro de  $\pm 10\%$  del voltaje especificado.
- c) Interferencia de radiofrecuencia (RFI).

Pueden ocurrir errores cuando un instrumento de medición se utiliza en las cercanías de un equipo que genera chispa eléctrica, por ejemplo: una solda-

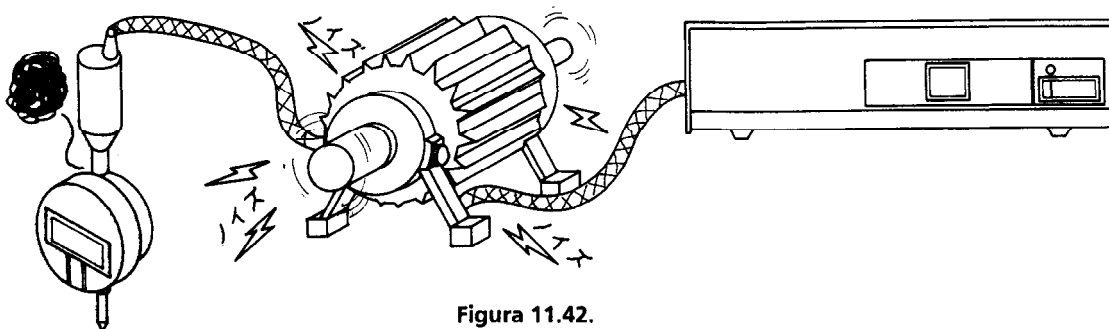


Figura 11.42.

dora eléctrica. Utilice los instrumentos de medición tan lejos como sea posible de estas fuentes de interferencia. Entre más largo sea el cable de salida de datos más estará expuesto a interferencia. Cuando utilice un cable mayor de 3 m es necesario checar la interferencia por radiofrecuencia.

### 8. Solventes y otros líquidos químicos

- a) Evite usar ácidos y álcalis  
Estos compuestos corroen las partes metálicas, por tanto, es preciso limpiar el instrumento para evitar que se contamine. Cuando se dejan ácidos o álcalis durante un largo periodo sobre la superficie de la cubierta de plástico, la ventana de la cubierta de la pantalla se agrietará.
- b) Solventes orgánicos  
Solventes, como thinner o bencina, disuelven partes plásticas y producen grietas; mejor use el trapo seco o una tela humedecida con detergente neutro para eliminarlos (Fig. 11.43).

Solventes

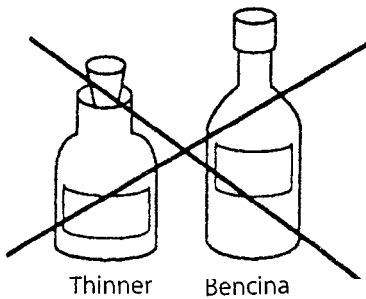


Figura 11.43.

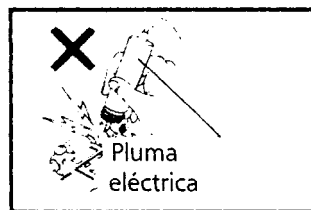


Figura 11.44.

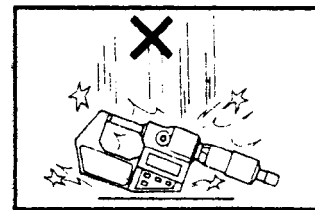


Figura 11.45.

### 9. Pluma eléctrica

No utilice este dispositivo sobre un instrumento de medición, ya que puede dañar el circuito interno. Cualquier otro tipo de carga de voltaje debe evitarse (Fig. 11.44).

### 10. Impacto y vibración

Evite los impactos y vibraciones fuertes. Las vibraciones normales del medio ambiente no presentan problemas. Si un instrumento de medición cae al piso o sufre una colisión brusca, verifique su exactitud de medición antes de volver a utilizarlo (Fig. 11.45).

### 11. Campo magnético (campo electromagnético)

Un campo magnético débil generado por una mordaza magnética o un desmagnetizador no presenta problema alguno. Un desmagnetizador sí puede utilizarse sobre instrumentos de medición.

### 12. Vacío: sobre $10^{-2}$ torr

Un vacío mayor a éste puede dañar la pantalla LCD y causar fugas en la batería.

Nota: 1 torr = 1 mm Hg = 1/760 atm = (101325/760) Pa

### 13. Rayos radiactivos

Evite exponer los instrumentos a este tipo de radiación, ya que el diseño no considera la protección correspondiente. Cuando una herramienta se utiliza bajo radiación puede ocurrir interferencia eléctrica dentro del circuito, lo que causaría errores de funcionamiento. Una exposición prolongada a rayos radiactivos dañará los circuitos integrados y otros componentes y provocará fallas o mal funcionamiento.

### 14. Flama y explosión

El diseño no considera protección contra flamas o explosiones.

Nota 1: Las baterías deben instalarse con la polaridad correcta. Si el instrumento de medición no se utiliza por largos periodos, remueva las baterías para evitar daños por fugas de las baterías.

Nota 2: No desarme los instrumentos de medición. Envíelos al fabricante para que los repare (Figs. 11.46 y 11.47).

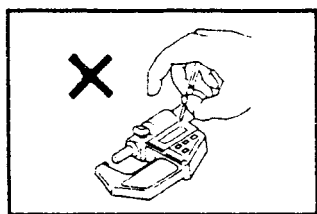


Figura 11.46.

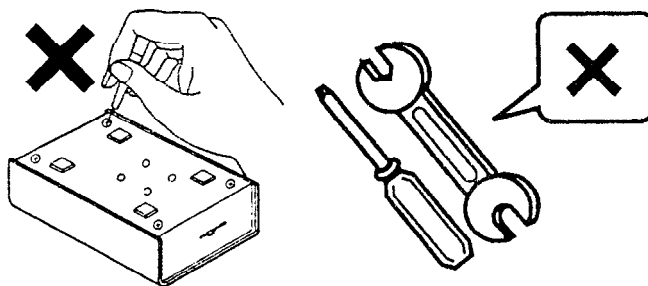


Figura 11.47.

Nota 3: Véase el punto 10 arriba. Los instrumentos electrodigitales están diseñados y empacados para funcionar correctamente después de realizar la prueba de caída (JIS Z 0200) estipulada como sigue:

“Deje caer en línea recta el paquete que contenga un instrumento manual seis veces desde una altura de 90 cm, con cada uno de los seis lados del paquete hacia abajo.”

Nota 4: El micrómetro electrodigital no debe abrirse más allá de su rango de medición, ya que puede desajustarse el detector y ocasionar mal funcionamiento. (Fig. 11.48)

El micrómetro cuenta con dispositivo para controlar la fuerza de medición; no obstante, si se cierra con velocidad excesiva dará lecturas diferentes, lo que causará falta de repetibilidad imputable a la habilidad del operador (Figs. 11.48 y 11.49).

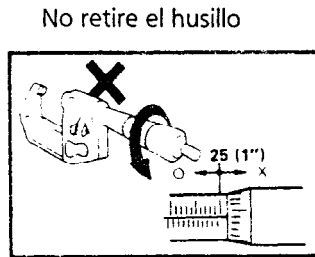


Figura 11.48.

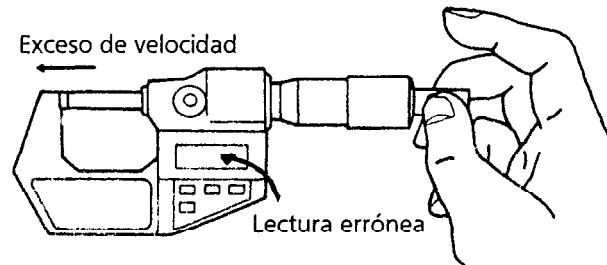


Figura 11.49

## OTRAS CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

Con frecuencia ciertos instrumentos, como indicadores o micrómetros, requieren utilizarse en posiciones diferentes, razón por la cual la pantalla —junto con otras

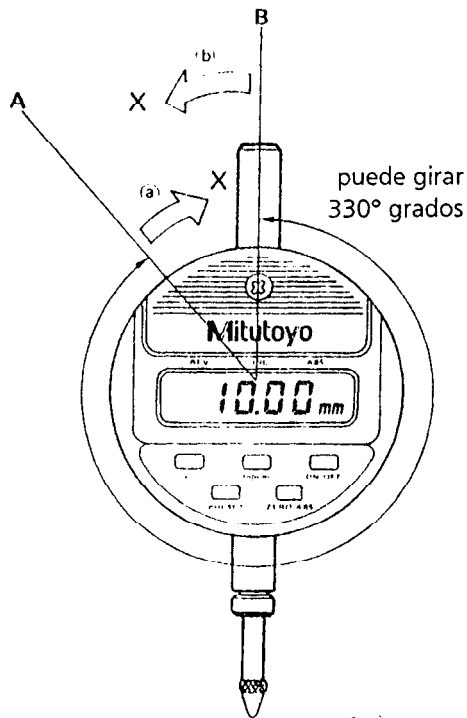


Figura 11.50.

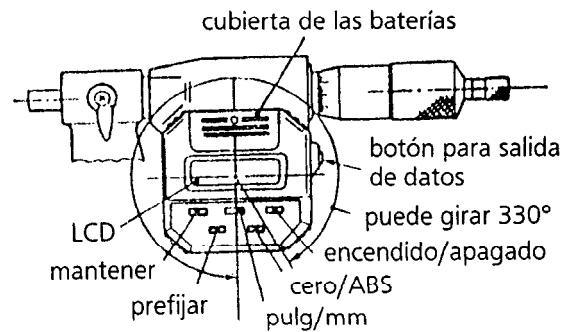


Figura 11.51.



partes— pueden girar  $330^\circ$ , lo que resulta suficiente para poder tomar las lecturas con los dígitos en una posición cómoda.

Para levantar el husillo de los indicadores electrodigitales puede utilizarse un disparador, una palanca o un gancho (véanse las Figs 11.52, 11.53 y 11.54).

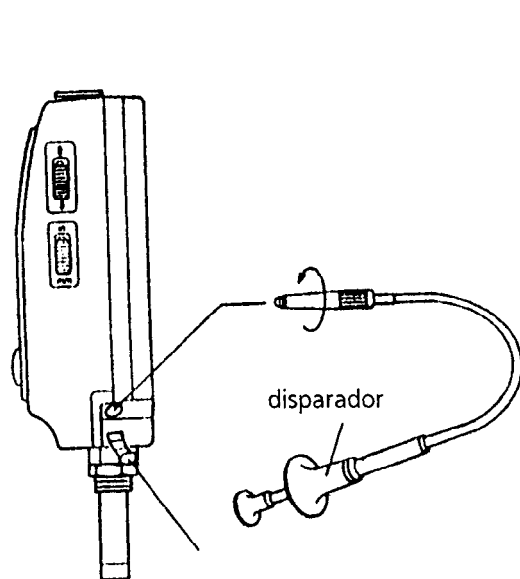


Figura 11.52.

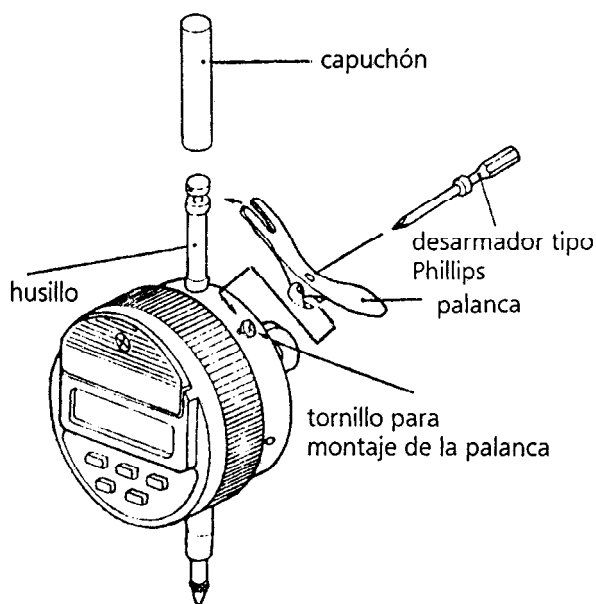


Figura 11.53.

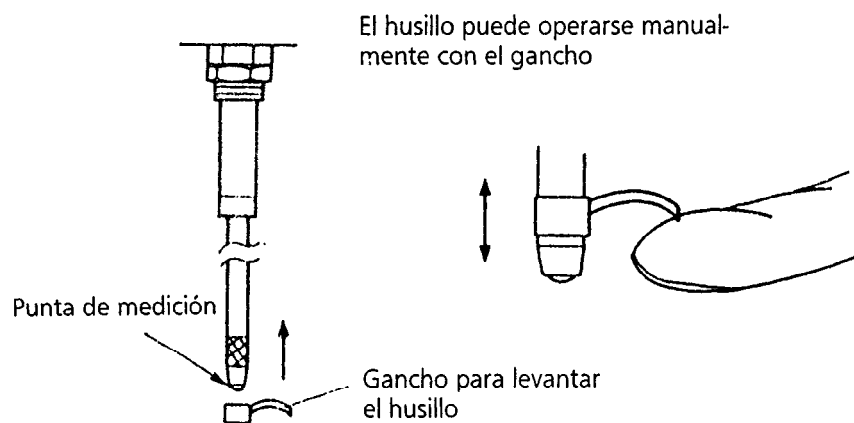


Figura 11.54.

En el mercado están disponibles indicadores sin pantalla, que pasan la señal a un contador que puede, a su vez, conectarse a un microprocesador o una PC. Estos indicadores son útiles en casos en los que se requiere colocar varios en un

espacio reducido, que dificulta o imposibilitan la lectura, como es el caso de dispositivos para inspección simultánea de diversas características en piezas producidas en serie.

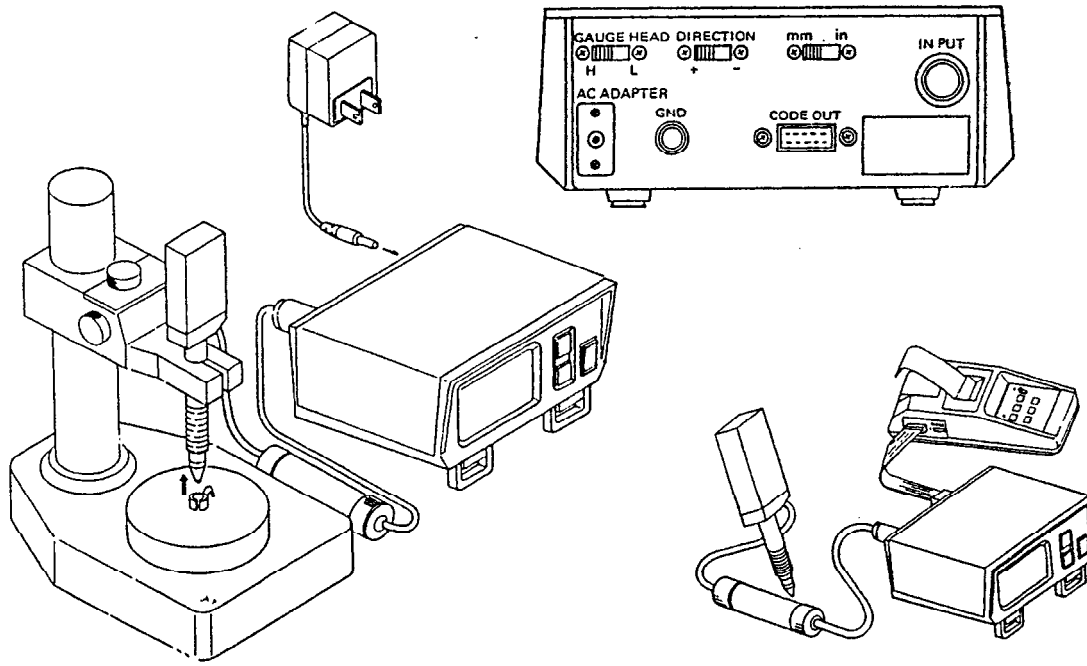


Figura 11.55.

Existen palpadores tipo cartucho o palanca (Fig. 11.56) cuyo rango de medición es pequeño, pero con una unidad amplificadora (mostrada en la fig. 11.57) de gran resolución ( $0.1 \mu\text{m}$ ); incluso pueden hacerse arreglos para medición diferencial (Fig. 11.57).

En otras aplicaciones de inspección simultánea de diversas características puede utilizarse un arreglo como el que ilustra la figura 11.58, éste consiste de una unidad múltiple con seis canales (para conectar seis instrumentos) y una unidad contadora conectada a un microprocesador. Los indicadores pueden accionarse mediante un interruptor por medio de una pequeña unidad motorizada o neumática. Las figuras 11.59, 11.60 y 11.61 muestran las principales partes de las unidades mencionadas para ofrecer una idea de las funciones disponibles.

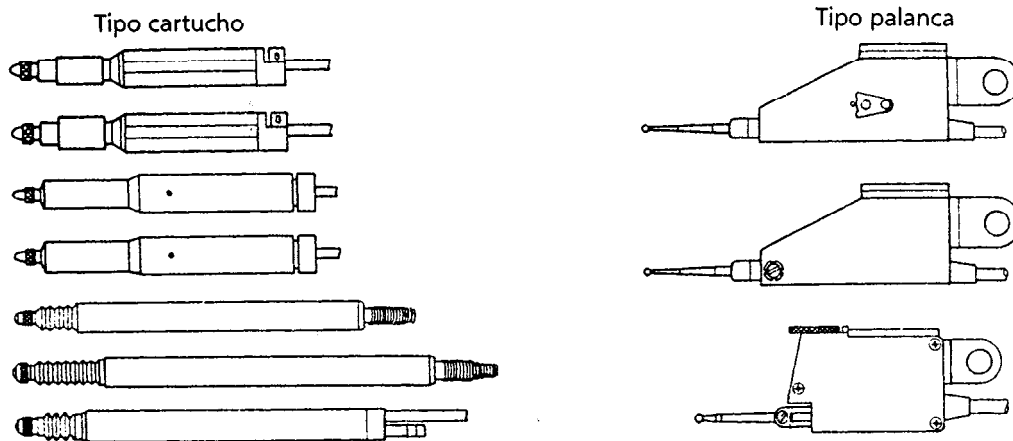


Figura 11.56.

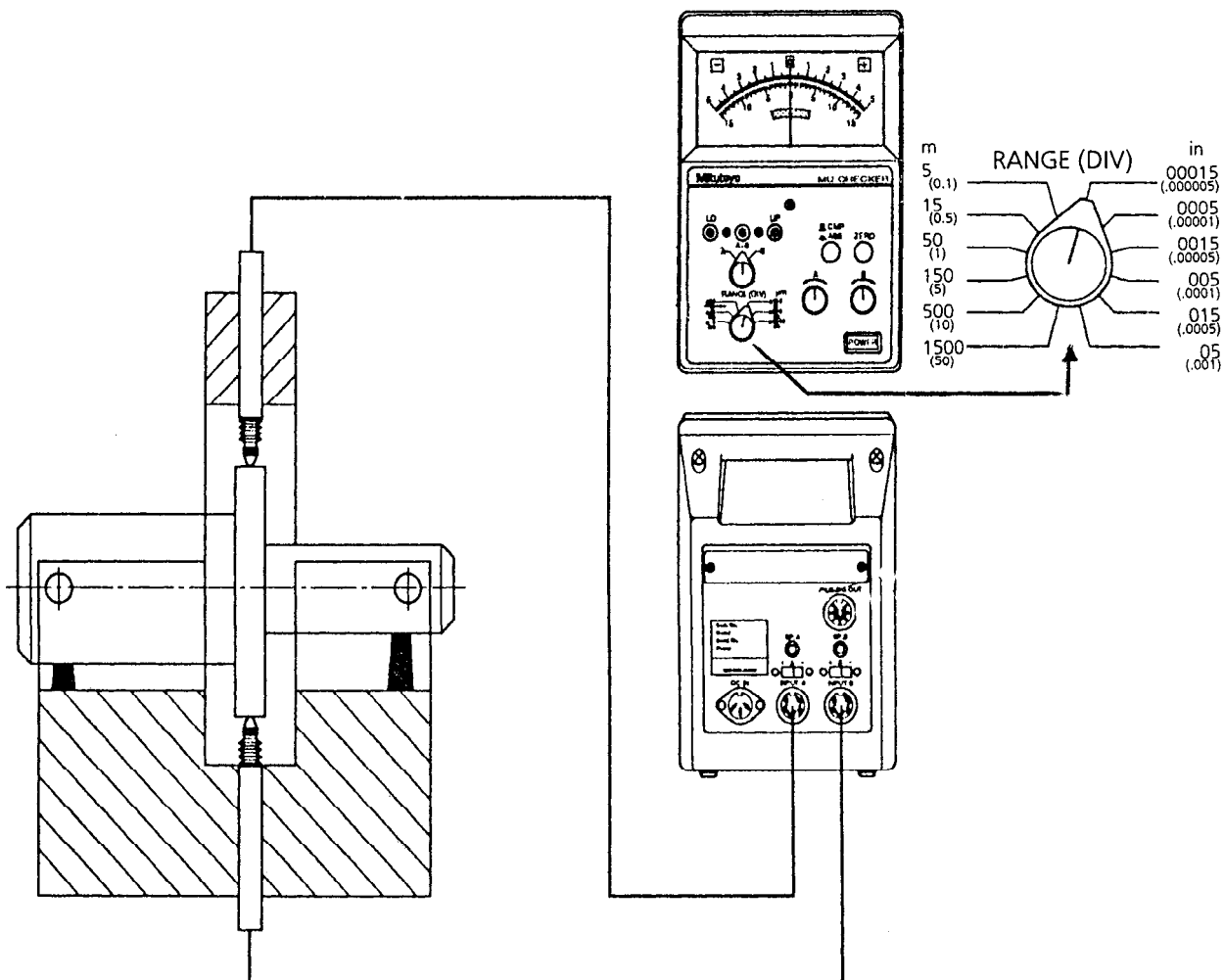


Figura 11.57.

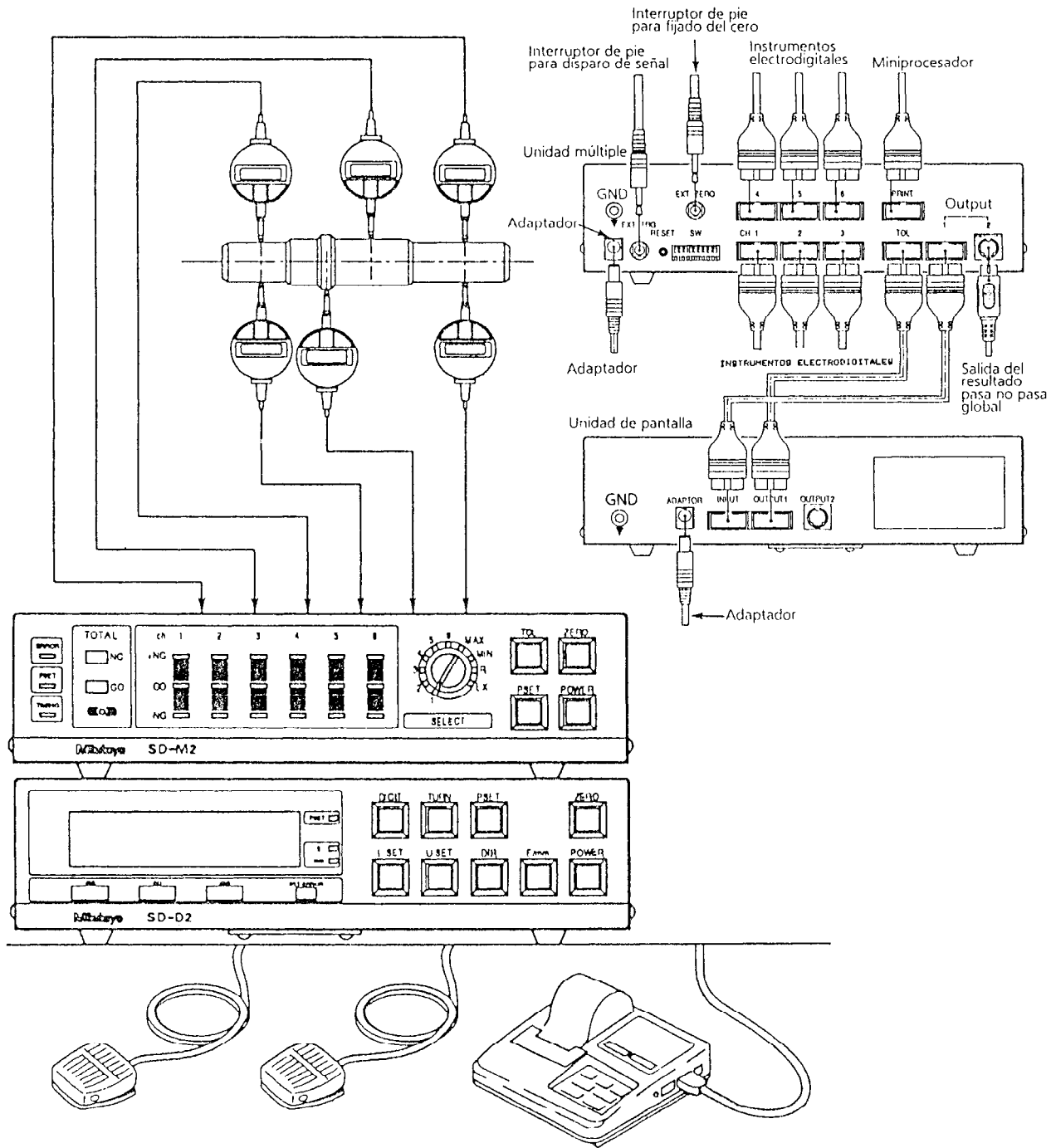


Figura 11.58.

## Unidad múltiple (vista frontal)

1. LEDS para juicio pasa/no pasa para todos los canales
2. LED de error
3. LED de prefijado
4. LED para confirmación de que el juicio pasa/no pasa ha sido terminado
5. Emisor de sonido, suena cuando el juicio es no pasa
6. LEDS pasa/no pasa para cada canal
7. Tecla del prefijado
8. Tecla de encendido apagado
9. Tecla del cero
10. Tecla de tolerancia
11. Interruptor de selección de la medida que va a mostrarse en pantalla

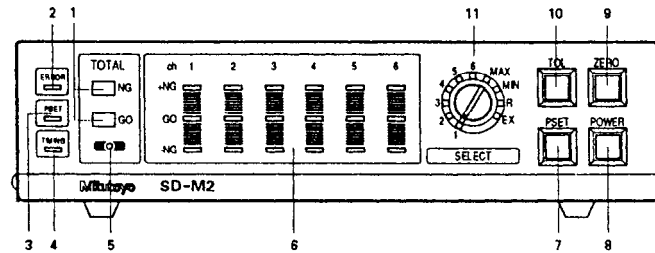


Figura 11.59.

## Unidad múltiple (vista posterior)

1. Terminal de tierra
2. Conector para adaptador de corriente alterna
3. Interruptor de pie para disparar la señal
4. Botón de reestablecimiento (asume valores por *default*)
5. Interruptores DIP (para fijar valores de *default*)
6. Conector de tolerancia
7. Conector 1 de salida de datos
8. Conector 2 de salida de datos pasa/no pasa
9. Conector para impresora
10. Conectores de salida (para conectar los instrumentos).
11. Conector para interruptor de pie (puesta a cero de todos los canales).

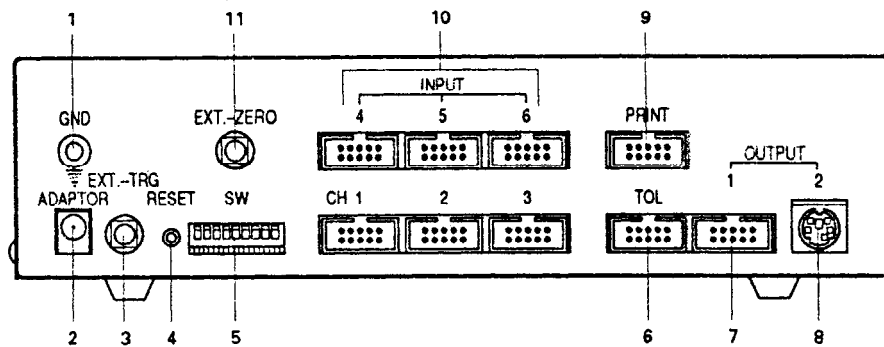


Figura 11.60.

1. Pantalla
2. LED de modo mm/pulg
3. LED de pasa/no pasa
4. LED de error
5. Interruptor de encendido/apagado
6. Tecla del cero
7. Tecla del modo P
8. Tecla de cambio
9. Tecla de prefijado
10. Tecla de conversión mm/pulg
11. Tecla para cambio de dirección
12. Tecla para fijado del límite superior
13. Tecla para fijado del límite inferior
14. Terminal de tierra
15. Conector para adaptador de corriente
16. Conector de entrada
17. Conector de salida
18. Conector de salida de la señal pasa/no pasa

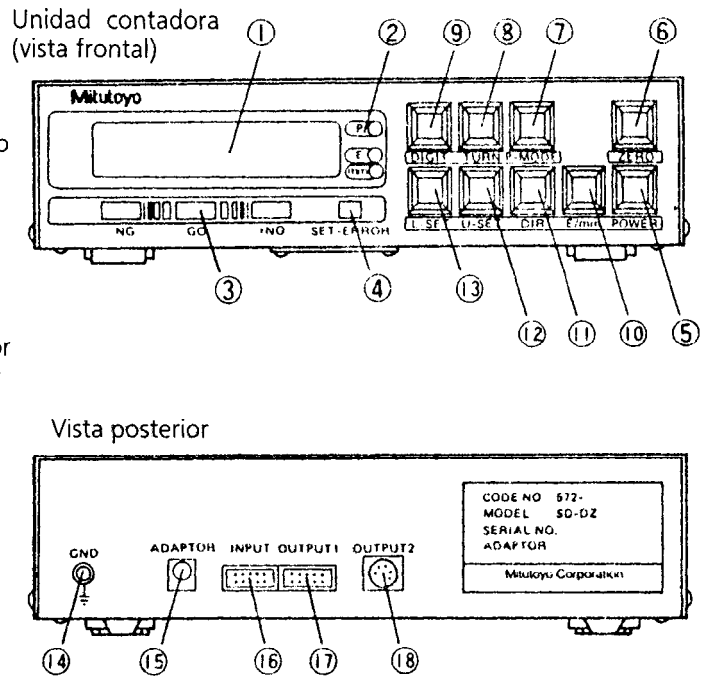


Figura 11.61.

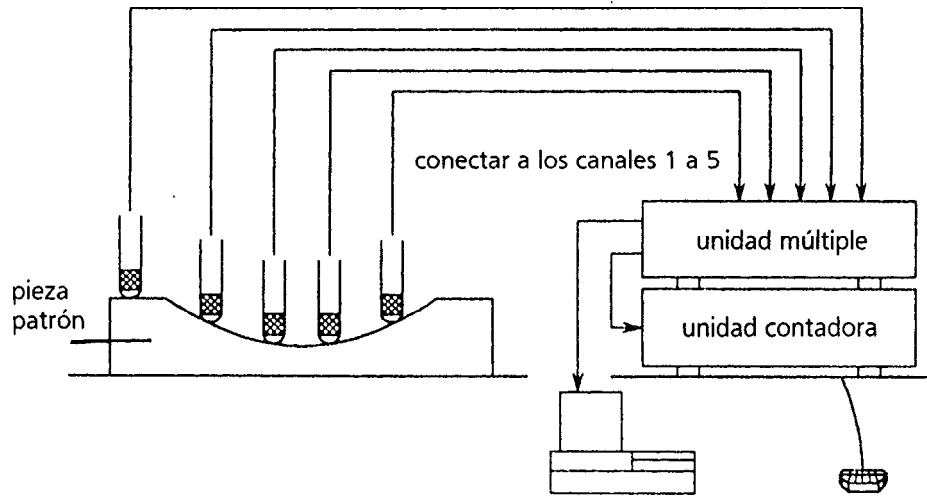


Figura 11.62.

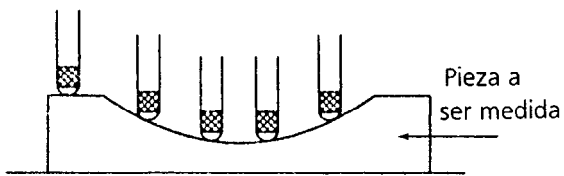


Figura 11.63.

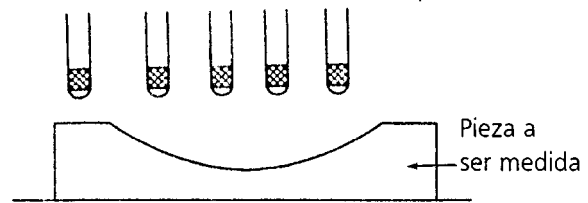


Figura 11.64.

La aplicación que muestra la figura 11.62 para la inspección de contornos (tolerancia de perfil) consiste en colocar adecuadamente indicadores ajustados a cero sobre una pieza patrón y luego levantar los husillos (Fig. 11.63). Cuando se retira la pieza patrón y se introduce la pieza que va a medirse se bajan los husillos (Fig. 11.64) y se toman las lecturas con la unidad múltiple y la unidad contadora.

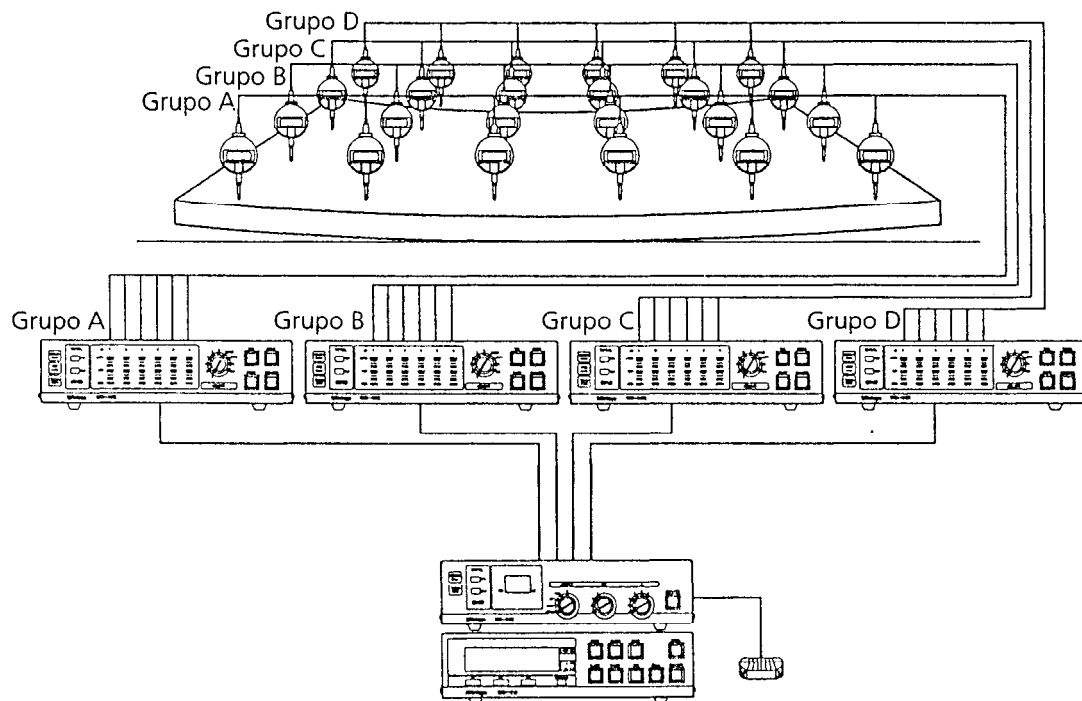


Figura 11.65.

Si se requiere un mayor número de indicadores pueden utilizarse unidades múltiples adicionales con un máximo de 4 (24 instrumentos en total). En este caso sería necesario contar, además de la unidad contadora, con una unidad de extensión, el arreglo se muestra en la figura 11.65.

Como puede verse en los ejemplos anteriores, las posibilidades de aplicación son múltiples y muy variadas y sólo requieren del diseño adecuado para la sujeción de los indicadores y la colocación de la pieza por inspeccionar. (Figs. 11.66 y 11.67).

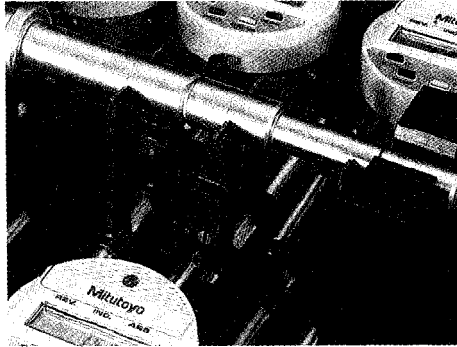


Figura 11.66.

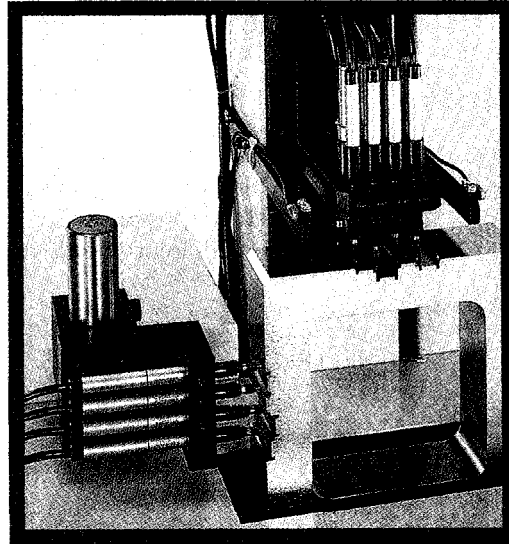
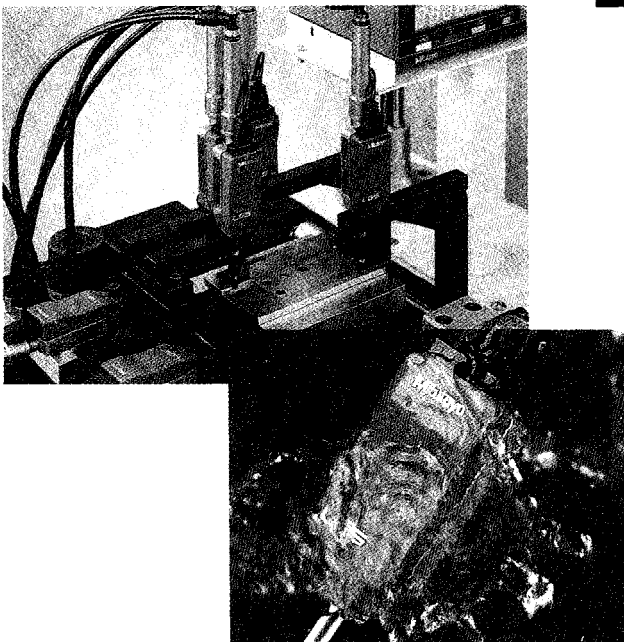


Figura 11.67.





## CODIGO IP

En 1976, la Comisión Electromecánica Internacional (IEC) normalizó el Código IP (Código Internacional de Protección) en la norma IEC529, referenciando la DIN40050.

El Código IP indica el grado de protección proporcionado por las cubiertas del equipo. En otras palabras, el Código IP muestra el alcance de protección de la cubierta externa contra contacto directo, polvo, suciedad y chorro de agua.

Los niveles de protección son probados y clasificados utilizando dos dígitos del Código IP, tal como IP-54 o IP-66. El primer número característico (p. ej. el 5 del 54) se refiere al nivel de prueba de polvo {0 (no protegido) a 6 (el más alto nivel de protección, p. ej. hermético al polvo)}, el cual se relaciona al grado de protección contra partes perjudiciales (contacto directo con personas) y el ingreso de objetos sólidos extraños. El segundo número característico (p. ej. el 4 del 54) se refiere al nivel de resistencia al agua {0 (no protegido) a 8 (inmersión continua)}, el cual se relaciona al grado de protección contra el ingreso de agua con efectos perjudiciales.

El instrumento mostrado en la fig. 11.67 corresponde a un código IP 66.

## Bloques patrón

### LA HISTORIA DEL BLOQUE PATRÓN

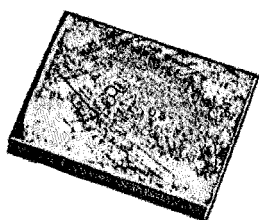
En los albores del siglo XVIII el científico sueco Cristopher Polhem elaboró una barra que contaba con diferentes espesores e introdujo una nueva tecnología en la industria del hierro (Fig. 12.1).

En 1980 Hjalmer Ellstrom, fabricante sueco de armas, diseñó un bloque patrón con dos superficies paralelas para inspeccionar rifles (Fig. 12.2). En 1910 Carl Edward Johansson descubrió que cualquier longitud podía obtenerse combinando un conjunto de pequeños bloques patrón con diferentes tamaños; basado en este principio construyó un juego de bloques patrón compuesto de 111 piezas con el cual podía formar cualquier longitud dentro del rango de 2 a 202 mm en incrementos de 1  $\mu\text{m}$  (200 000 combinaciones). Estas piezas tienen una sección transversal rectangular y se denominan bloques patrón rectangulares (tipo Johansson). En 1918 William E. Hoke, del entonces National Bureau of



Barra patrón

Figura 12.1.



Bloques de medición con superficies paralelas

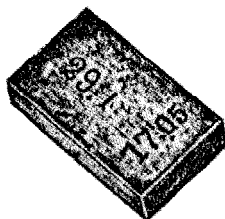


Figura 12.2.

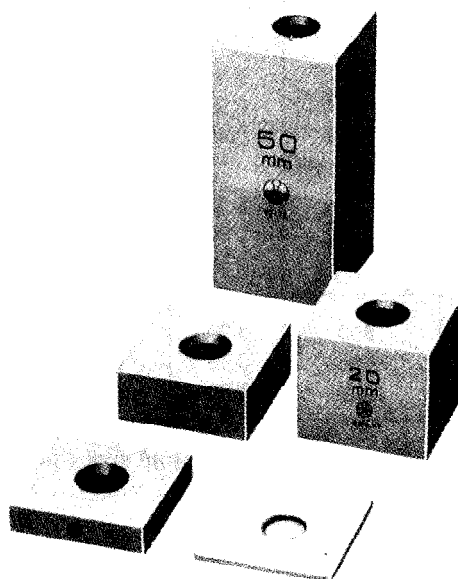


Figura 12.3.

Standards (NBS) de Estados Unidos actualmente NIST, (National Institute of Standards and Technology); diseñó un bloque patrón con una sección transversal cuadrada y un agujero en el centro. Este tipo de bloques es ampliamente utilizado en Estados Unidos debido a su facilidad de manejo y se denominan bloques patrón cuadrados (tipo Hoke, Fig. 12.3).

La figura 12.4 muestra la nomenclatura para los bloques patrón.

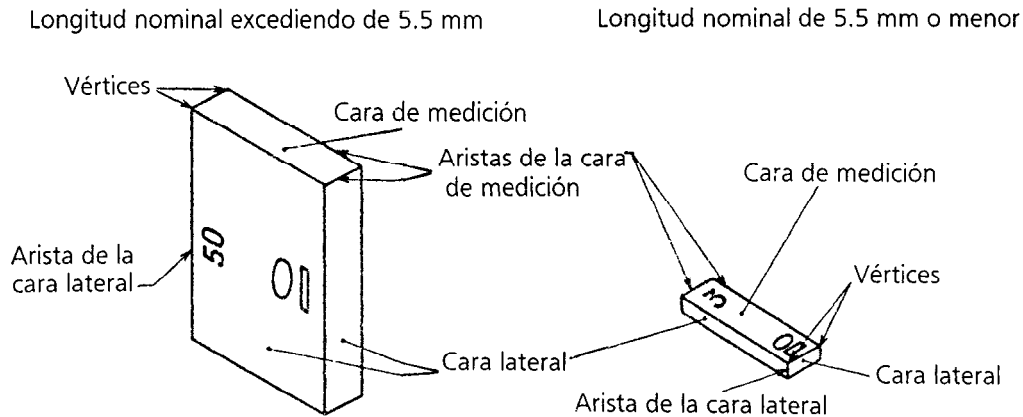


Figura 12.4.

## REQUERIMIENTOS PARA LOS BLOQUES PATRÓN

1. Exactitud dimensional y geométrica.  
Longitud, paralelismo, planitud.
2. Capacidad de adherencia con otros bloques.  
Buen acabado superficial.
3. Estabilidad dimensional a través del tiempo.
4. Duros y resistentes al desgaste.
5. Coeficiente de expansión térmica cercano al de los metales comunes.
6. Resistencia a la corrosión.

### Exactitud de los bloques patrón

Los bloques patrón se clasifican en términos de exactitud según la tabla 12.1, la cual muestra guías para seleccionar el grado adecuado y satisfacer diferentes aplicaciones.

Las especificaciones de exactitud de longitud para los bloques patrón están dadas en la tabla 12.2 de acuerdo con las normas JIS, DIN e ISO. La tabla 12.3 proporciona los valores para los bloques patrón en pulgadas de acuerdo con las normas FEDERAL SPECIFICATION y ANSI.

Existen dos métodos de medición de bloques patrón: medición absoluta y medición comparativa.

El método de medición absoluta mide directamente el tamaño de un bloque patrón utilizando la longitud de onda de la luz, la cual es el patrón práctico de longitud mediante equipos denominados interferómetros (Fig. 12.5).

**Tabla 12.1.**

Clasificación	Uso	Grado			
		JIS-ISO-DIN		FED, SPEC, ANSI	
Referencia	Investigación tecnológica y científica Calibración de bloques patrón	00		0.5	
Calibración	Calibración de instrumentos de medición Calibración de bloques patrón	0	00	1	0.5
Inspección	Inspección de partes, máquinas, herramientas, etc. Calibración de instrumentos de medición	1	2	2	3
Taller	Fabricación de dispositivos Inspección de instrumentos de medición Montaje de herramientas de corte	2	1	3	2

**Tabla 12.2.**

Unidad:  $\mu\text{m}$

Longitud nominal (mm)	Grado			
	00	0	1	2
De 0.5 a 10	+/- 0.06	+/- 0.12	+/- 0.20	+/- 0.45
Más de 10 a 25	0.07	0.14	0.30	0.60
Más de 25 a 50	0.10	0.20	0.40	0.80
Más de 50 a 75	0.12	0.25	0.50	1.00
Más de 75 a 100	0.14	0.30	0.60	1.20
Más de 100 a 150	0.20	0.40	0.80	1.60
Más de 150 a 200	0.25	0.50	1.00	2.00
Más de 200 a 250	0.30	0.60	1.20	2.40
Más de 250 a 300	0.35	0.70	1.40	2.80
Más de 300 a 400	0.45	0.90	1.80	3.60
Más de 400 a 500	0.50	1.10	2.20	4.40
Más de 500 a 600	0.60	1.30	2.60	5.00
Más de 600 a 700	0.70	1.50	3.00	6.00
Más de 700 a 800	0.80	1.70	3.40	6.50
Más de 800 a 900	0.90	1.90	3.80	7.50
Más de 900 a 1000	1.00	2.00	4.20	8.00

Nota: El de 0.5 mm está incluido en la división mostrada.

Tabla 12.3. FED, SPEC, ANSI

Longitud nominal (pulg)	Grado							
	0.5 (Antes AAA)		1 (Antes AA)		2 (Antes A+)		3 Compromiso entre los anteriores A y B	
1 o menos	+1	-1	+2	-2	+4	-2	+8	-4
2 o menos	+2	-2	+4	-4	+8	-4	+16	-8
3 o menos	+3	-3	+5	-5	+10	-5	+20	-10
4 o menos	+4	-4	+6	-6	+12	-6	+24	-12
5 o menos	—	—	+7	-7	+14	-7	+28	-14
6 o menos	—	—	+8	-8	+16	-8	+32	-16
7 o menos	—	—	+9	-9	+18	-9	+36	-18
8 o menos	—	—	+10	-10	+20	-10	+40	-20
10 o menos	—	—	+12	-12	+24	-12	+48	-24
12 o menos	—	—	+14	-14	+28	-14	+56	-28
16 o menos	—	—	+18	-18	+36	-18	+72	-36
20 o menos	—	—	+20	-20	+40	-20	+80	-40

Valores en micropulgadas

En el método de medición comparativa, el tamaño de un bloque patrón se mide comparándolo con un bloque patrón de referencia de longitud conocida (medido con interferómetro). Para realizar mediciones comparativas puede utilizarse un instrumento de medición analógico con graduaciones de 0.2 μm/división o un instrumento de medición digital con una resolución de 0.01 μm (Fig. 12.6).

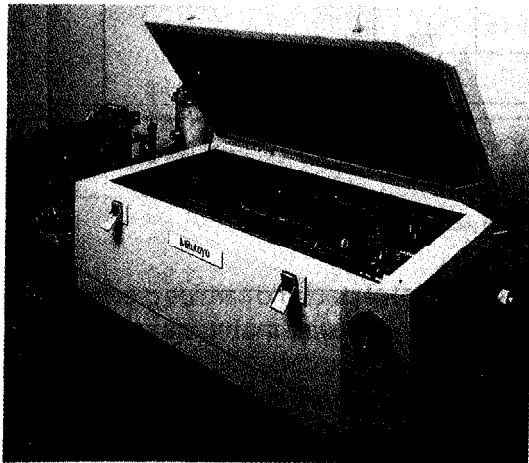


Figura 12.5.



Figura 12.6.

El punto de medición de un bloque patrón rectangular es el centro de la superficie de medición porque la longitud del bloque se define como la dimensión central. Los bloques patrón cuadrados tienen un agujero en el centro y su punto de medición lo muestran los puntos en el diagrama de la figura 12.7.

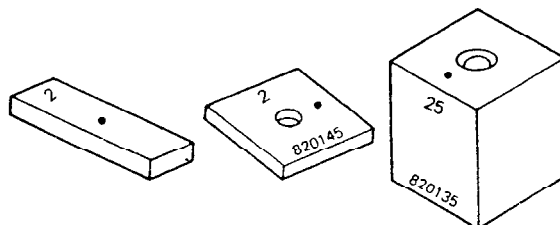


Figura 12.7.

Es necesario que los bloques patrón de los grados 00 y 0.5 sean medidos mediante interferometría y descable que todos tengan certificado de inspección de longitud. Éstos son como los que se muestran en las dos páginas siguientes y contienen los siguientes datos:

Medida nominal, número de identificación y desviación (de la longitud nominal en el punto de referencia) para cada bloque en particular y, además, lo siguiente para todo el juego: número de clave del fabricante, número de juego, fecha de la inspección, grado, número de serie, firma del inspector, identificación del fabricante, método de medición, temperatura a la que se realizó la inspección, coeficiente de expansión térmica, material de que están hecho los bloques y la incertidumbre de la medición.

### *Trazabilidad de los bloques patrón*

La trazabilidad es un sistema en el cual el patrón de referencia para un patrón o instrumento de medición (como un producto final) puede calibrarse mediante patrones de mayor exactitud secuencialmente hasta el patrón nacional de máxima exactitud. Los fabricantes de bloques patrón y las organizaciones de inspección poseen interferómetros y cuentan con su propio sistema de control de la exactitud. Cualquier organización puede realizar inspecciones de bloques patrón si tiene una lámpara capaz de emitir luz de una longitud de onda conocida (recomendada por la Conferencia Internacional de Pesas y Medidas) y el equipo necesario para satisfacer las condiciones requeridas para la emisión. Sin embargo, la realización de mediciones utilizando interferencia de luz necesita técnicas especiales como compensación de

**Mitutoyo****Certificate of Inspection**

Mitutoyo Corporation

31-19, Shibaf-chome, Minato-ku, Tokyo 108, Japan  
Phone (03)3453-3341

Code No. 514-337

Grade 00

Set No. 513-112-00

Serial No. 322565

Date 20th February, 1992.

Inspected by

*S. Shuto*

Nominal Size	Identification Number	Deviation (micrometres)	Nominal Size	Identification Number	Deviation (micrometres)	Nominal Size	Identification Number	Deviation (micrometres)
0.5	511318	+0.02	1.17	511511	+0.03	1.45	511135	+0.04
1.005	512551	+0.03	1.18	511573	+0.04	1.46	511167	+0.02
1.001	512558	+0.04	1.19	511593	-0.01	1.47	511019	-0.02
1.002	512556	+0.04	1.2	512105	+0.01	1.48	520002	+0.04
1.003	512555	+0.04	1.21	511195	+0.01	1.49	520005	+0.04
1.004	512529	+0.04	1.22	511284	+0.03	1.5	510394	-0.02
1.005	512552	+0.02	1.23	511107	+0.02	1.5	510666	+0.03
1.006	512553	+0.01	1.24	510928	+0.04	1.5	510994	+0.03
1.007	520514	+0.04	1.25	511273	+0.03	1.5	510972	+0.01
1.008	520540	+0.05	1.26	510902	+0.01	1.5	510988	+0.02
1.009	520522	+0.03	1.27	510917	0.00	1.5	510734	+0.04
1.01	512129	-0.01	1.28	520021	-0.01	1.5	510727	+0.04
1.02	512550	+0.02	1.29	511095	+0.05	1.5	520031	+0.04
1.03	512554	+0.05	1.3	512148	+0.04	1.5	511005	+0.02
1.04	512555	+0.04	1.31	510265	+0.03	1.5	511509	+0.04
1.05	512578	+0.04	1.32	510359	-0.01	1.5	510540	+0.03
1.06	512544	+0.04	1.33	511249	+0.04	1.5	510722	+0.05
1.07	512508	+0.02	1.34	510970	+0.01	1.5	510800	-0.01
1.08	512579	+0.01	1.35	510896	+0.06	1.5	511006	+0.07
1.09	512550	+0.01	1.36	510864	+0.05	1.5	520010	+0.01
1.1	511551	0.00	1.37	510142	+0.06	1.5	510629	+0.02
1.11	511551	+0.01	1.38	511142	+0.06	1.5	510751	+0.02
1.12	511505	-0.01	1.39	512496	+0.06	1.5	510687	+0.03
1.13	511535	+0.06	1.4	512496	+0.06	1.5	510779	-0.02
1.14	511500	+0.01	1.41	511120	-0.01	1.5	512038	+0.04
1.15	511532	+0.06	1.42	511209	-0.01	1.5	520002	+0.04
1.16	511560	+0.05	1.43	510921	+0.06	1.5	520117	+0.12
1.17	511560	+0.05	1.44	511016	+0.03			

■ The deviation registered above: by comparative measurement

■ Calibration at 20° Centigrade/68° F

■ Coefficient of thermal expansion: (10.0±1.0)×10<sup>-6</sup>/K■ Material: Ceramics (ZrO<sub>2</sub>)

■ Uncertainty of measurement: less than 50mm ±0.06mm Up to 100mm ±0.08mm

■ The uncertainties are for a confidence probability of not less than 95%



Date: 9-9-2010

Serial No. 367502

[illegible]

31-19, Shiba5-chome, Minato-ku, Tokyo 108, Japan  
phone (03)3453-3341

Inspected by \_\_\_\_\_

Stuffs

Nominal Size	Identification Number	Deviation (micrometres)
.131	920009	+2
.132	920068	0
.133	910174	+2
.134	920048	-1
.135	920094	+2
.136	920034	+1
.137	920060	0
.138	910533	+2
.139	920020	+1
.14	920026	+1
.141	920013	+1
.142	920071	0
.143	900369	+1
.144	900368	+1
.145	911241	+2
.146	912020	+2
.147	920013	+1
.148	920048	+2
.149	920095	+1
.15	910472	+2

Nominal Size	Identification Number	Deviation (micrometres)
2	900534	+2
2.5	920041	+2
3	920033	+2
3.5	900261	+1
4	900534	0
4.5	900431	+1
5	910266	+1
5.5	920097	+2
6	900362	+1
6.5	920079	-1
7	920274	+1
7.5	920041	+2
8	910453	0
8.5	900360	+1
9	920001	+2
9.5	910301	+2
1	920108	0
2	900426	+2
3	900569	0
4	900294	+4

The deviation registered above by comparative measurement

Calibration at 68° Fahrenheit (20° Centigrade) (ITS-90)

1 inch = 25.4 mm Exactly

■ Coefficient of thermal expansion:  $(5.5 \pm 0.6) \times 10^{-5}$

Traceable to U.S. National Institute of Standards and Technology Registry

(Formerly National Bureau of Standards)



error por desviación de la longitud de onda, etcétera. Para superar el problema de comprobar la exactitud, los fabricantes de bloques patrón japoneses utilizan un sistema de trazabilidad indirecta denominado sistema de medición *Round-Robin* (todos comparados con todos). En este sistema un bloque patrón de 100 mm, medido por el *National Research Laboratory of Metrology* (NRLM), se envía a los fabricantes de bloques patrón e institutos de inspección para que verifiquen su técnica de medición utilizando sus propios interferómetros. El objetivo de este sistema es que la diferencia en medición no exceda 0.03  $\mu\text{m}$  del valor que midió el NRLM.

### Incertidumbre de la medición

Cualquier medición contendrá inevitablemente un grado de incertidumbre con respecto a su exactitud. En otras palabras, siempre habrá un cierto rango de distribución de error cuando se mida el mismo objeto varias veces. Esto puede atribuirse a muchos factores, incluyendo las características del instrumento de medición, las condiciones del medio ambiente, los patrones de referencia y los errores humanos.

Por lo general, en la medición comparativa de bloques patrón la incertidumbre está dentro del rango  $\pm 0.05 \mu\text{m}$  a  $\pm 0.07 \mu\text{m}$ . Para la inspección de recibo la norma federal (Estados Unidos) estipula que los valores que muestra la tabla 12.4 deberían incluirse en las especificaciones de los bloques patrón además de los valores nominales dados en la tabla 12.3.

**Tabla 12.4.**

Valores en  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{pulg}$ ) FED. SPEC.

Medida nominal		Grados 0.5		Grado 1		Grado 2		Grado 3	
mm	pulg	Longitud	Planitud y paralelismo	Longitud	Planitud y paralelismo	Longitud	Planitud y paralelismo	Longitud	Planitud y paralelismo
100 o menos	4 o menos	0.03 (1)	0.03 (1)	0.05 (2)	0.03 (1)	0.05 (2)	0.03 (1)	0.05 (2)	0.05 (2)
Más de 100 Hasta 200	Más de 4 Hasta 8			0.07 (3)	0.03 (1)	0.15 (6)	0.03 (1)	0.15 (6)	0.05 (2)
Más de 200 Hasta 300	Más de 8 Hasta 12			0.10 (4)	0.03 (1)	0.20 (8)	0.03 (1)	0.20 (8)	0.05 (2)
Más de 300 Hasta 500	Más de 12 Hasta 20			0.12 (5)	0.03 (1)	0.25 (10)	0.03 (1)	0.25 (10)	0.05 (2)

### Tolerancias de paralelismo y planitud

Las tolerancias de paralelismo y planitud para las superficies de medición de los bloques patrón se proporcionan en las tablas 12.5, 12.6 y 12.7.

Tabla 12.5.

Unidad:  $\mu\text{m}$ 

Longitud nominal (mm)		Valores permisibles de paralelismo			
Más de	Hasta incluir	Grado 00	Grado 0	Grado 1	Grado 2
0.5	10	0.05	0.10	0.16	0.30
10	25	0.05	0.10	0.16	0.30
25	50	0.06	0.10	0.18	0.30
50	75	0.06	0.12	0.18	0.35
75	100	0.07	0.12	0.20	0.35
100	150	0.08	0.14	0.20	0.40
150	200	0.09	0.16	0.25	0.40
200	250	0.10	0.16	0.25	0.45
250	300	0.10	0.18	0.25	0.50
300	400	0.12	0.20	0.30	0.50
400	500	0.14	0.25	0.35	0.60
500	600	0.16	0.25	0.40	0.70
600	700	0.18	0.30	0.45	0.70
700	800	0.20	0.30	0.50	0.80
800	900	0.20	0.35	0.50	0.90
900	1000	0.25	0.40	0.60	1.00

Nota: El de 0.5 mm está incluido en la división mostrada.

Tabla 12.6. Valores permisibles de planitud de la cara de medición

JIS

Unidad:  $\mu\text{m}$ 

Longitud nominal (mm)		Grado 00	Grado 0	Grado 1	Grado 2
Más de	Hasta incluir				
—	150	0.05	0.10	0.15	0.25
150	500	0.10	0.15	0.18	0.25
500	1000	0.15	0.18	0.20	0.25

Tabla 12.7. Tolerancias de planitud y paralelismo

FED. SPEC. —ANSI

Grado	Longitud							
	500 mm (2 pulg) o menos		Más de 50 mm (2 pulg) hasta 100 mm (4 pulg)		Más de 100 mm (4 pulg) hasta 200 mm (8 pulg)		Más de 200 mm (8 pulg) hasta 500 mm (20 pulg)	
	$\mu\text{m}$	$\mu\text{pulg}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{pulg}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{pulg}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{pulg}$
0.5	0.03	1	0.03	1	—	—	—	—
1	0.05	2	0.07	3	0.07	3	0.10	4
2	0.10	4	0.10	4	0.10	4	0.12	5
3	0.12	5	0.12	5	0.12	5	0.15	6

Convencionalmente, para comprobar el paralelismo se toman otras cuatro mediciones de longitud en los puntos indicados en la figura 12.8, determinándose así la diferencia  $P$  entre la longitud mayor ( $L_1$ ) y la longitud menor ( $L_2$ ), debiendo estar dentro de los límites especificados.

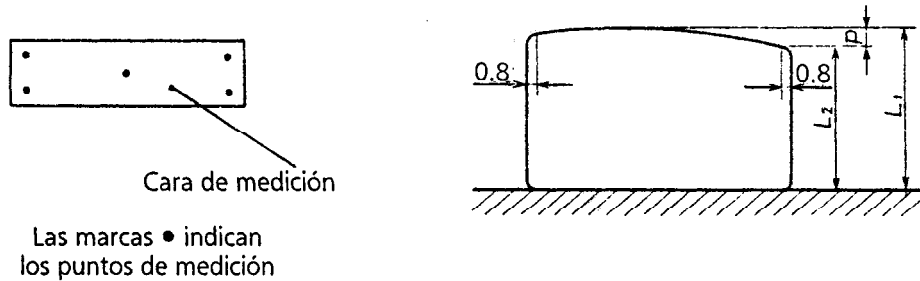


Figura 12.8.

La planitud de las caras de medición de los bloques patrón puede determinarse mediante interferometría, pero un método práctico es utilizar planos ópticos (Fig. 12.9).

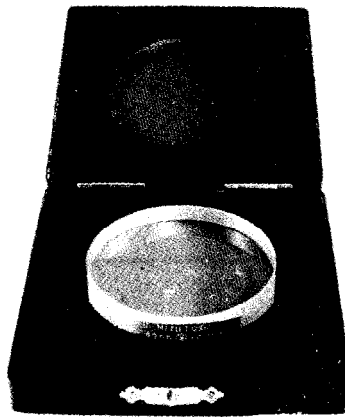


Figura 12.9.

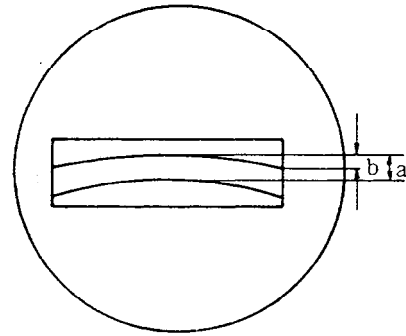


Figura 12.10

Después de limpiar la superficie por inspeccionar, el plano óptico se coloca sobre la cara de medición y se ejerce una ligera presión en uno de sus extremos para que quede ligeramente inclinado y entonces aparecerán franjas de interferencia. La curvatura de las franjas se utiliza para determinar el valor de planitud de la superficie inspeccionada (Fig. 12.10).

La planitud  $P$  está dada por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\lambda b}{2a}$$

En donde  $\lambda$  = longitud de onda de la luz utilizada.

Es recomendable utilizar luz monocromática para inspeccionar la planitud; cuando se hace con luz blanca se utilizan como referencia las franjas de color rojo porque son las que mejor se definen. En estas condiciones una franja ( $a = b$ ) es igual a  $0.32 \mu\text{m}$  (12  $\mu\text{pulg}$ ).

Algunos ejemplos de lectura se muestran en la figura 12.11.

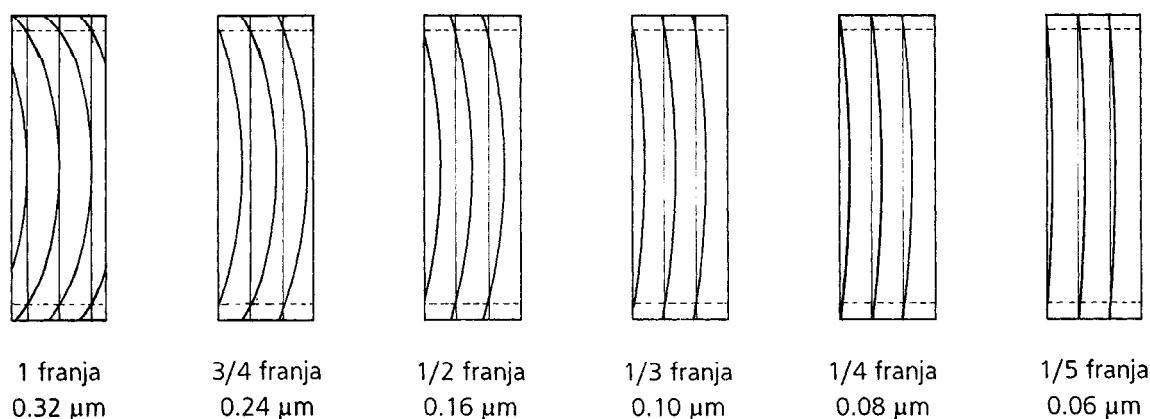


Figura 12.11.

### Acabado superficial de las caras de medición

Después del tratamiento térmico, el acabado de las caras de medición de los bloques patrón se realiza por medio de rectificado y lapeado para mejorar las características de adherencia con otros bloques e incrementar la resistencia al desgaste. Es necesario lograr un alto grado de planitud y acabado superficial. La norma JIS estipula que la rugosidad superficial no debe exceder  $0.06 \mu\text{m}$   $R_{\text{máx}}$  para los grados 00 y 0 y  $0.08 \mu\text{m}$   $R_{\text{máx}}$  para los grados 1 y 2 de bloques patrón. La Norma Federal especifica  $0.7 \mu\text{pulg}$   $R_a$  para los grados 0.5 y 1 y  $1.10 \mu\text{pulg}$   $R_a$  para los grados 2 y 3.

### Tratamiento estabilizador para bloques patrón

Uno de los más importantes requisitos para un bloque patrón es que después de haber sido acabado con un alto grado de exactitud, debe mantener sus dimensiones originales durante un largo periodo.

La composición del acero después del tratamiento térmico es como sigue:

1. Martensita
2. Austenita residual
3. Carburos no solubles

La martensita, formada inmediatamente después del tratamiento térmico, tiene una estructura transicional inestable y se denomina martensita endurecida (martensita  $\alpha$ ). Con el tiempo ésta cambia a martensita revenida (martensita  $\beta$ ), la cual es estable. Mientras este cambio ocurre el acero se contrae. El revenido es un proceso que se utiliza para controlar este cambio; el acero tratado térmicamente se deja a una temperatura de aproximadamente 150°C por unas cuantas horas.

La austenita que no se tornó en martensita durante el tratamiento térmico se denomina austenita residual, la cual es inestable y se expande conforme cambia gradualmente a martensita. Este proceso puede controlarse mediante un tratamiento con temperaturas bajo cero, un proceso en el cual el acero tratado térmicamente se deja a una temperatura cercana a -80°C por unas cuantas horas. Aun utilizando el tratamiento bajo cero no toda la austenita residual se transformará en martensita, sin embargo, la estabilidad se mejora mediante el proceso de revenido.

En la práctica, el tratamiento bajo cero y el revenido se repiten alternadamente para minimizar la pérdida de exactitud a través del tiempo.

La tabla 12.8 muestra la tolerancia para la estabilidad dimensional según JIS-ISO-DIN.

**Tabla 12.8.** Estabilidad dimensional

Grado	Tolerancia por variaciones ( $\mu\text{m/año}$ )
00 y 0	0.02 + 0.0005Lo
1 y 2	0.05 + 0.001Lo

Lo representa el tamaño en mm.

### Dureza

Los bloques patrón requieren una mayor resistencia al desgaste que otros patrones de referencia; así, un alto grado de dureza es esencial. La norma JIS especifica una dureza mínima de 800 Vickers, mientras que la Norma Federal especifica un valor mínimo de 62 Rockwell C. La adición de titanio (Ti), cromo (Cr) y tungsteno (W) mejoran la resistencia al desgaste. Con estos elementos formados en carburos la dureza Vickers puede exceder 1000.

### Coefficiente de expansión térmica

Los bloques patrón se utilizan como referencia en la medición comparativa, y como se usan sobre todo en la industria metalmecánica, su coeficiente de expansión térmica debe ser tan cercano al del acero como sea posible. De acuerdo con la norma JIS el coeficiente de expansión térmica debe estar dentro de un rango de  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . El coeficiente de expansión térmica de la austenita residual

es cerca del doble del de la martensita y el del acero está determinado por la relación entre estos dos componentes, con una dispersión normal de aproximadamente  $\pm 0.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

Los bloques patrón manufacturados en la actualidad en Japón están hechos de acero al alto carbono y al alto cromo con un coeficiente de expansión térmica de aproximadamente  $10.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

### Adherencia

Una de las más importantes características de los bloques patrón es que cualquier dimensión puede obtenerse adheriéndolos unos con otros. El principio de adherencia ISO lo define como fuerza intermolecular. La fuerza de adherencia varía según el líquido utilizado; grasa y vaselina neutras es lo que con mayor frecuencia se emplea para este propósito.

### Método de prueba

La prueba de adherencia fue llevada a cabo con seis personas de diferentes niveles de habilidad. La tabla 12.9 muestra los resultados de los errores de adherencia. Un total de cinco bloques fueron adheridos en el conjunto.

A y B, gran habilidad

C y D, habilidad promedio

E y F, sin habilidad (se dieron instrucciones sobre el método de adherencia).

El error de adherencia normalmente es menor a  $0.01 \mu\text{m}$ , pero hay casos en los que algunas rayaduras sobre las caras de medición lo incrementan. Para obtener la dimensión que se requiere hay disponibles muchas combinaciones de bloques patrón. Si una medición requiere de gran exactitud, el método recomendado es tomar el valor promedio de las mediciones realizadas utilizando dos o tres diferentes combinaciones.

**Tabla 12.9.** Resultados de la prueba de errores de adherencia

Unidad:  $\mu\text{m}$

	A	B	C	D	E	F
① Longitud del conjunto	+0.18	+0.17	+0.16	+0.18	+0.19	+0.21
② El total de los valores individuales medidos	+0.17					
③ Diferencia ① - ②	+0.01	0	-0.01	+0.01	+0.02	+0.04
Diferencia por adherencia ( ③ / 5 )	+0.0025	0	-0.0025	+0.0025	+0.005	+0.01

#### Notas

<sup>1</sup> La longitud del conjunto de bloques patrón fue medida con un interferómetro, por tanto, el valor nominal total se resta de los resultados medidos.

<sup>2</sup> El tamaño de cada bloque es medido individualmente con un interferómetro, por tanto el valor nominal total se resta del total de los resultados medidos.

## PRECAUCIONES DURANTE LA UTILIZACIÓN DE BLOQUES PATRÓN

### *Herramientas y cuidados necesarios*

#### • Papel

Éste se utiliza para eliminar aceite antioxidante, marcas, polvo, etcétera. Antes se utilizaba tela de algodón, ahora material libre de pelusa, por ejemplo: papel para limpiar lentes, el cual es muy popular debido a su conveniencia.

#### • Solvente

Es útil para remover el aceite antioxidante, grasa, etcétera. Los solventes altamente volátiles, como el freón, son recomendables. La bencina A también es efectiva, pero debe manejarse con cuidado debido a su toxicidad.

#### • Pera de aire con brocha

Ésta se utiliza para eliminar, mediante aire, el polvo acumulado en las caras de medición. Una pera de aire con brocha para lentes fotográficos es muy adecuada para este propósito. La brocha debe lavarse periódicamente con detergente neutro.

#### • Tenazas

Estos implementos son útiles cuando se limpian bloques patrón de tamaño pequeño, dado que esto se dificulta cuando se los sostiene directamente con la mano.

#### • Guantes de algodón

Éstos se emplean para manejar bloques de tamaño grande. Los guantes son un medio efectivo para prevenir la oxidación y minimizar la expansión térmica.

#### • Aceite antioxidante

Existen diferentes tipos de aceite que el fabricante recomienda, ya que algunos tipos de aceite antioxidante causan decoloración. El aceite antioxidante algunas veces se utiliza como aceite para la adherencia; sin embargo, algunos tipos de este aceite contienen lubricante sólido, lo cual es inadecuado para la adherencia. El aceite tipo pasta (grasa) se emplea para prevenir la oxidación durante periodos de almacenamiento medios y largos. El papel volátil (papel VCI) inhibe la corrosión-oxidación, pero pierde fácilmente sus ingredientes activos por evaporación al aire libre y por lo tanto es peligroso confiar demasiado en su capacidad de protección.

### • Plano óptico

Es útil para detectar pequeñas protuberancias y medir la planitud de la cara de medición. Es deseable contar con uno cuyo diámetro sea de 60 mm.

### • Piedra de Arkansas

Este material se utiliza para remover rebabas de la cara de medición: el mejor tipo es la piedra dura natural de Arkansas. La superficie de la piedra debe estar acabada por lapeado con polvo de lapeado WA núm. 3000. Antes de usarlo el exceso de material de lapeado debe removerse de la superficie para que sólo queden las microcavidades superficiales llenas con el material restante.

#### *Las rebabas y su eliminación*

Los bloques patrón están hechos de material cuya dureza es superior a 800 Vickers; sin embargo, pueden rayarse o marcarse fácilmente por el manejo rudo (en especial cuando dos bloques se golpean uno contra otro). Un bloque dañado utilizado sin eliminar las rebabas y marcas tal vez dañe otros bloques patrón cuando se utilicen juntos. Un plano óptico se emplea para detectar rebabas sobre las caras de medición. Es necesario asegurarse, antes de la inspección, que las superficies del plano óptico y del bloque patrón estén bien limpias. Cuidadosamente, ponga el plano óptico en contacto con la cara de medición del bloque patrón y aparecerán franjas de interferencia (debe tenerse presente que ninguna franja puede aparecer cuando esté presente una rebaba grande), luego presione ligeramente el plano óptico contra la cara de medición. La desaparición de las franjas de interferencia indica que no hay alguna rebaba presente. Si las franjas de interferencia permanecen parcialmente, mueva el plano óptico y cambie ligeramente su posición hacia un lado y el otro. Si después de esto las franjas aparecen en la misma localización sobre la cara de medición, significa que hay una rebaba sobre la superficie del bloque patrón, pero si las franjas permanecen en donde mismo, sobre el plano óptico, esto indica que hay una rebaba sobre este último.

Las rebabas o protuberancias sobre una cara de medición deben eliminarse; con una piedra de Arkansas limpie las superficies de la cara de medición y utilice solventes para asegurarse de que el material extraño (polvo, grasa, etc.) ha sido completamente eliminado. Entonces coloque el bloque patrón sobre la piedra de Arkansas y deslícelo con suavidad hacia adelante y hacia atrás mientras presiona ligeramente contra la piedra. Después de 10 o 20 movimientos inspeccione la cara de medición con un plano óptico para cerciorarse de que la rebaba haya sido removida. Repita el procedimiento hasta que la rebaba haya sido completamente eliminada. Existe un límite de tamaño de rebaba que una piedra de Arkansas puede remover utilizando este método, por lo que tal vez sea mejor reemplazar el bloque por uno nuevo si la rebaba es demasiado grande. Dado que los bloques delgados se flexionan fácilmente, utilice un trozo de hule como soporte para presionar el bloque patrón contra la piedra.



## PROCEDIMIENTO DE ADHERENCIA

Existen diferentes maneras de obtener un tamaño específico adhiriendo varios bloques patrón. Los siguientes puntos deben tenerse presentes cuando se adhieran bloques patrón.

1. Utilice el mínimo número de bloques patrón para formar la medida deseada.
2. Seleccione bloques gruesos siempre que sea posible.
3. Seleccione bloques patrón empezando con uno que tenga el mínimo dígito significativo requerido y entonces seleccione secuencialmente dígitos más significantes (véase el ejemplo de la tabla 12.10).
4. Evite utilizar bloques patrón de 5 mm y sus múltiplos, siempre que sea posible.

**Tabla 12.10.** Cómo seleccionar bloques patrón para construir el tamaño deseado (35.745 mm)

Orden de combinación	(A)	(B)	(C)
(1)	1.005	1.005	1.005
(2)	1.24	1.24	1.24
(3)	13.5	16.5	15.5
(4)	20	17.0	18.0
	<u>35.745</u>	<u>35.745</u>	<u>35.745</u>

Con la finalidad de evitar el tamaño de 20 mm, es mejor utilizar las combinaciones (B) o (C) de la tabla 12.10 en lugar de (A).

Enseguida se proporcionan dos ejemplos adicionales para seleccionar los bloques patrón necesarios utilizando los bloques patrón de protección al desgaste de 2 mm y .050 pulg (véase Fig. 12.13) y considerando que tienen las medidas de los bloques de los certificados de inspección ya citados.

### Ejemplo 12.1.

Paso	Procedimiento	Operación	Comprobación
1.	Anotar la dimensión requerida en papel	27.781 mm	
2.	Restar el tamaño de los dos bloques protectores del desgaste: $2 \times 2 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$	4.000	4.000
	Residuo	<u>23.781 mm</u>	

3.	Usar un bloque que elimine el último dígito (de la derecha)	$\begin{array}{r} 1.001 \\ \hline 22.780 \text{ mm} \end{array}$	1.001
	Residuo		
4.	Usar un bloque que elimine el último dígito y al mismo tiempo vuelva el dígito a la izquierda de él un cero o un cinco.	$\begin{array}{r} 1.28 \\ \hline 21.500 \end{array}$	1.28
	Residuo		
5.	Usar un bloque que elimine el último dígito y que al mismo tiempo deje un residuo que preferentemente no sea múltiplo de 5 mm (se prefieren los bloques grandes)	$\begin{array}{r} 10.5 \\ \hline 11.000 \text{ mm} \end{array}$	10.5
	Residuo		
6.	Usar un bloque o dos que completen la medida deseada.	$\begin{array}{r} 11.000 \\ \hline 0.000 \end{array}$	$\begin{array}{r} 11.000 \\ \hline 27.781 \text{ mm} \end{array}$
	Residuo		

## Ejemplo 12.2.

Paso	Procedimiento	Operación	Comprobación
1.	Anotar la dimensión requerida en papel	1.6428 pulg	
2.	Restar el tamaño de los dos bloques protectores del desgaste: $2 \times .50 \text{ pulg} = .100 \text{ pulg}$	$\begin{array}{r} .100 \\ \hline 1.5428 \text{ pulg} \end{array}$	.100
	Residuo		
3.	Usar un bloque que elimine el último dígito (de la derecha)	$\begin{array}{r} .1008 \\ \hline 1.4420 \text{ pulg} \end{array}$	.1008
	Residuo		
4.	Usar un bloque que elimine el último dígito y al mismo tiempo vuelva el dígito ubicado a la izquierda de él en un cero o un cinco.	$\begin{array}{r} .142 \\ \hline 1.3000 \text{ pulg} \end{array}$	.142
	Residuo		
5.	Usar un bloque que elimine el último dígito	$\begin{array}{r} .300 \\ \hline 1.0000 \text{ pulg} \end{array}$	.300
	Residuo		

6. Usar un bloque o dos que complete la medida deseada.

	1.0000	1.0000
Residuo	0.0000	1.6428 pulg

### Métodos y observaciones sobre la adherencia

1. Los bloques patrón deben manejarse sobre una placa de madera blanda o tela.  
Asegúrese de no golpearlos uno con otro y nunca dejarlos caer al piso.
2. Limpie el aceite con un trapo limpio empapado con gasolina blanca y cuidando no rayar las caras.
3. Asegúrese de que no haya raspaduras, rebabas y óxido, sobre la cara de medición y la periferia, ya que esto dificulta la adherencia de las caras. Éstas deben verificarse con el plano óptico.
4. Antes de unirlos, limpie las caras de tal manera que estén libres de polvo.
5. Aplique una pequeña cantidad de aceite de baja viscosidad en la cara de medición y distribúyala uniformemente sobre la superficie.
6. Cuando adhiera bloques gruesos, coloque los dos bloques patrón en ángulo recto uno con otro y gírelos a 90° mientras los presiona ligeramente. Si la condición de las caras de contacto es perfecta, los bloques patrón pueden adherirse adecuadamente (véase Fig. 12.12). Cuando quiera adherir un bloque delgado a uno grueso coloque un extremo del primero sobre un extremo del segundo de modo que queden paralelos uno con otro. Cuidadosamente deslice un bloque sobre el otro mientras se aplica una pequeña presión y los dos bloques se mantendrán juntos como si se mantuvieran mediante vacío (Fig. 12.12).
7. Si se detecta una anomalía en la unión hay que pararla y comprobar las caras de medición.
8. Si hay moho u óxido en la cara de medición quítelo cuidadosamente con la piedra de Arkansas de forma que la superficie de la cara no se dañe.
9. Si el bloque patrón cae y su cara se raspa, la raspadura debe corregirse.
10. Si el uso puede desgastar el bloque (por ejemplo, el ancho de una acanaladura debe medirse por contacto directo con un bloque patrón), coloque los bloques patrón de protección al desgaste en ambas caras del bloque (Fig. 12.13). Usualmente se usa una aleación hiperdura en estos bloques de protección, los cuales tienen 1 o 2 mm de espesor (.050 o .100 pulg). Una cara del bloque de protección debe usarse siempre para unirla con el bloque patrón.
11. Cuando dos bloques patrón delgados vayan a unirse, una un bloque delgado a uno grueso y luego una el otro bloque patrón delgado; ya que estén ajustados quite el bloque grueso y así los dos bloques delgados no se flexionan.

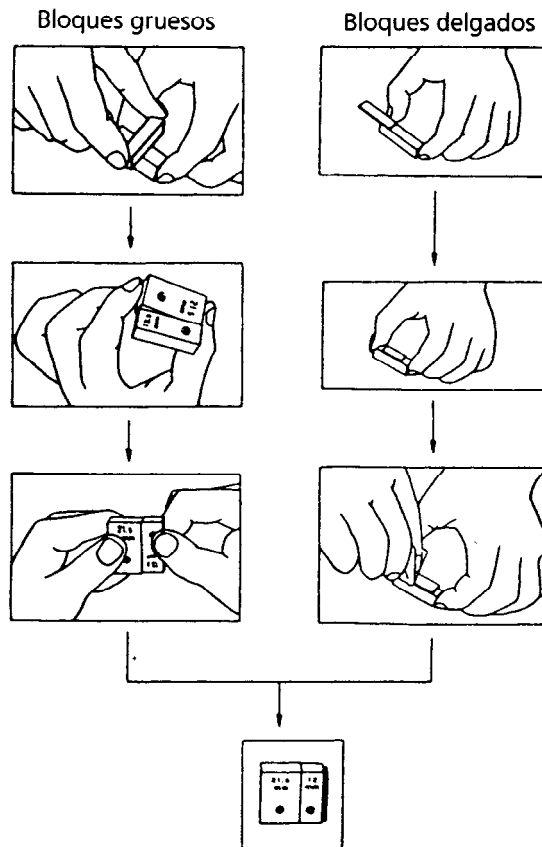
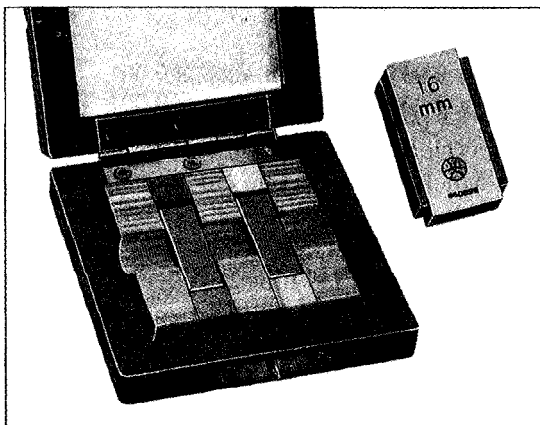


Figura 12.12.



Bloques patrón protectores del desgaste

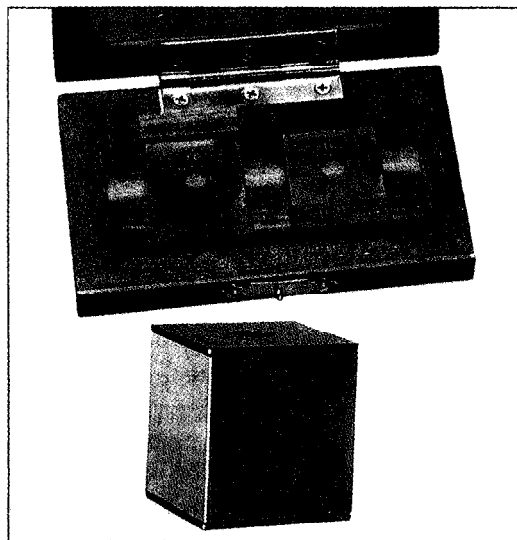


Figura 12.13.

12. Los bloques patrón deben unirse y ajustarse con rapidez. Si los bloques patrón se mantienen en la mano por algunos pocos minutos, hay que ponerlos en la mesa para que se estabilicen a la temperatura del cuarto.

### UNIÓN DE BLOQUES PATRÓN GRANDES

Es extremadamente difícil mantener juntos, por adherencia, bloques patrón grandes. Si se deslizan pueden rayarse las caras de medición o si se utiliza un soporte para sujetarlos la longitud total de los bloques patrón es excesiva y puede ocurrir deformación. La norma JIS recomienda que los bloques tengan agujeros para unión cerca del borde (Fig. 12.14), y hay soportes especiales para unir este tipo de bloques (Fig. 12.15). Normalmente todos los bloques mayores a 100 mm (4 pulg) cuentan con este agujero para unión.

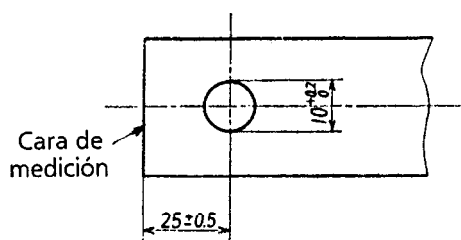


Figura 12.14.

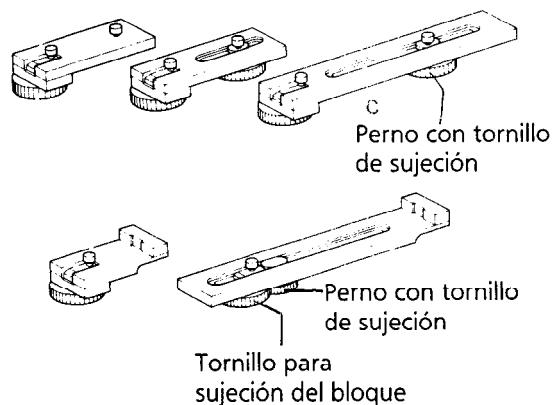


Figura 12.15.

### CUIDADOS QUE DEBEN TENERSE CON LOS BLOQUES DESPUÉS DE USARLOS

1. Cuando se termine de usar los bloques patrón hay que separarlos y limpiar sus caras. Después es necesario inspeccionarlos y ponerles aceite antioxidante; enseguida deben cubrirse con papel volátil inhibidor de la oxidación y almacenarlos.
2. Si el bloque patrón no va a usarse durante un periodo largo, debe guardarse en un cuarto libre de la acción de la luz solar y la humedad.
3. El aceite antioxidante que se usa para guardar los bloques patrón por un largo tiempo ya fue descrito. Ponga suficiente de dicho aceite en el bloque patrón y ponga papel volátil inhibidor de la oxidación en la caja, la cual se cubre con una bolsa de vinil.
4. Un bloque patrón que no se usa con frecuencia debe comprobársele, quitándole el aceite, la oxidación tres veces al año.

## FACTORES DE ERROR QUE AFECTAN A LOS BLOQUES PATRÓN

### Influencia de los cambios de temperatura

En las mediciones exactas de longitud debe considerarse la influencia de la temperatura. Generalmente la relación entre la temperatura y la longitud de un objeto es dada mediante la siguiente fórmula:

$$l_t = l_{20} \times \{1 + \alpha(t-20)\}$$

donde:

- $l_t$  = longitud del bloque a  $t^\circ\text{C}$
- $l_{20}$  = longitud del bloque a  $20^\circ\text{C}$
- $\alpha$  = coeficiente de expansión lineal
- $t$  = temperatura del bloque al tiempo de la medición

La figura 12.16 muestra la variación de longitud de un bloque patrón de 100 mm mientras se le manipula durante una medición. Como puede verse en la gráfica, el grado del cambio dimensional es diferente para cada caso de manipulación. Para hacer mediciones exactas es recomendable obtener antes datos experimentales. En la medición comparativa utilice un material con buena conductividad térmica y una gran capacidad térmica para ajustar los bloques patrón a la temperatura requerida.

Cuando el coeficiente de expansión lineal de la pieza sea diferente al del bloque patrón la medición debe realizarse a  $20^\circ\text{C}$ . Si los coeficientes de expansión lineal son los mismos para la pieza y el bloque patrón, no es indispensable realizar las mediciones a  $20^\circ\text{C}$ , siempre que las dos piezas sean mantenidas a la misma temperatura.

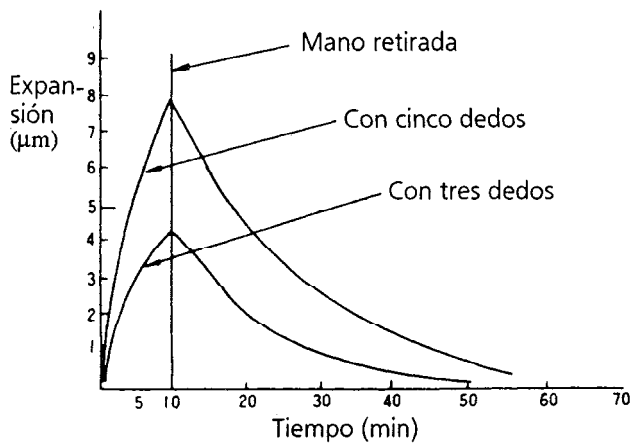


Figura 12.16.

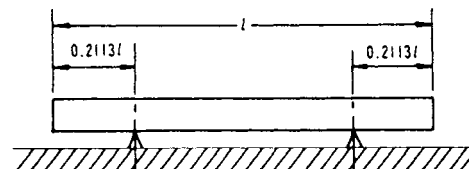


Figura 12.17.

## Deformación del bloque patrón debido a su propio peso

### a. Soporte horizontal.

Cuando un bloque patrón es soportado horizontalmente se flexiona bajo su propio peso. Debe notarse que el grado de flexión varía según donde estén los puntos de soporte. Las mejores posiciones de soporte están en los puntos Airy porque las dos caras de medición de los bloques patrón quedan aproximadamente paralelas (Fig. 12.17).

La contracción aparente  $\Delta l$  del bloque patrón cuando es soportado en los puntos Airy está dada por la siguiente fórmula:

$$\Delta l = 1.15 \times 10^{-6} \frac{L^3 W^2}{E^2 I^2}$$

donde

$L$  = longitud del bloque patrón

$W$  = peso por unidad de longitud del bloque patrón

$E$  = módulo de elasticidad (longitudinal)

$I$  = Momento de inercia geométrico)

La tabla 12.11 muestra la contracción aparente de un bloque patrón de 1000 mm cuando es soportado horizontalmente en los puntos Airy y en ambos extremos.

**Tabla 12.11.** Cambios dimensionales en  $\mu\text{m}$  de un bloque de 1000 mm (con sección transversal de  $35 \times 9$  mm) bajo su propio peso.

Contracción aparente		Al centro del bloque	Error $\Delta l$ , en ambos extremos debido a la flexión
Soportado en los puntos Airy	Con los lados de 35 mm colocados verticalmente	0.000016	0
	Con los lados de 9 mm colocados verticalmente	0.004	0
Soportado en los extremos	Con los lados de 35 mm colocados verticalmente	0.0065	10.4
	Con los lados de 9 mm colocados verticalmente	0.15	44.6

### ***b. Soporte vertical***

Cuando un bloque patrón se mantiene vertical la contracción  $\Delta l$  bajo su propio peso está dado por la siguiente ecuación.

$$\Delta l = \frac{L^2 \times M}{2 \times E}$$

donde:

$M$  = peso por unidad de volumen del bloque patrón

$E$  = módulo de elasticidad longitudinal

$L$  = tamaño del bloque patrón

Utilizando la fórmula anterior, el valor  $\Delta l$  para un bloque patrón de 1000 mm es, aproximadamente, 0.2  $\mu\text{m}$ .

### **Deformación elástica debida a fuerzas externas.**

En general, cuando se utilizan los bloques patrón con accesorios se usa un soporte. Éste está diseñado para mantener los bloques patrón mediante tornillos de fijación. Una fuerza excesiva sobre estos tornillos provoca errores de medición; la cantidad de contracción  $\Delta l$  se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta l = \frac{P L}{A E}$$

donde:

$P$  = fuerza de sujeción

$A$  = área de la sección transversal del bloque patrón

$L$  = tamaño del bloque patrón

$E$  = módulo de elasticidad longitudinal

Por ejemplo, un bloque patrón de 250 mm se contraerá 1.2  $\mu\text{m}$  bajo una fuerza de sujeción de 30 kg. Han existido casos en los que un bloque patrón se contrae tanto como 3  $\mu\text{m}$  bajo una fuerza de sujeción. Junto con otros factores que deben considerarse, los bloques patrón con agujero para unión son recomendables cuando se utilizan bloques patrón largos.

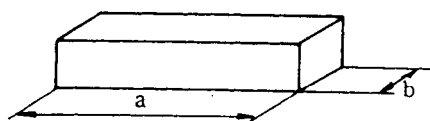
## **FORMA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES PATRÓN**

Las figuras 12.18 y 12.19 muestran las formas y dimensiones de los bloques patrón rectangulares y cuadrados, respectivamente.

### **Ventajas y desventajas**

A continuación se detallan las ventajas y desventajas de los bloques patrón cuadrados comparados con los rectangulares.





Medida nominal	Área ( $a \times b$ )
Hasta 10.1 mm	$30^{+0}_{-0.3} \times 9^{-0.05}_{-0.2}$
Más de 10.1 mm	$35^{+0}_{-0.3} \times 9^{-0.05}_{-0.2}$

Figura 12.18.

Dimensiones de la cara de medición ( $W \times W$ )  
 $(24.1 \pm 0.2) \times (24.1 \pm 0.2)$  mm

Diámetro del agujero central:  $\phi 6.7 \pm 0.1$  mm  
 Ángulo del avellanado:  $70^\circ - 84^\circ$

El avellanado sólo lo tienen los bloques patrón  
 de 5 mm y mayores

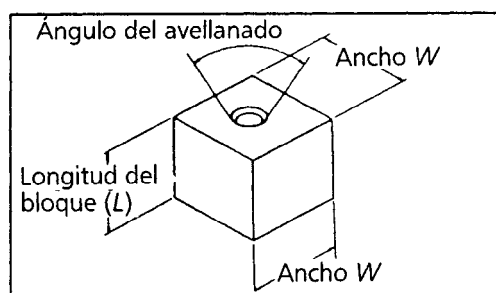


Figura 12.19.

### Ventajas

El área de las caras de medición de los cuadrados es casi el doble de la de los tipo rectangular, por tanto:

1. La adherencia es fácil; aun un operador sin habilidad los puede usar.
2. Los bloques patrón con frecuencia se utilizan en posición vertical sobre una mesa de granito, por lo que en estas aplicaciones la estabilidad de los bloques patrón cuadrados incrementa la eficiencia del trabajo.
3. Los bloques patrón cuadrados simplifican el procedimiento de colocación cuando se desea obtener mediciones exactas en las que mesas y reglas de senos con frecuencia se colocan sobre las caras de medición de bloques patrón.
4. Cuando se utilizan bloques patrón como referencia para medir diámetros interiores/exteriores con una máquina de medición, las caras de medición deben colocarse paralelas al eje del agujero o cilindro. La gran área de  $24 \times 24$  mm facilita ajustes de paralelismo y posibilita la colocación exacta.
5. La vida útil es más larga debido a la mayor área de medición.

A través del agujero en la cara de medición:

1. Los bloques patrón se unen fácilmente unidos porque no hay problemas que dificulten su adherencia.
2. La unión de los bloques patrón con un perno previene la separación accidental durante la medición.
3. Los bloques patrón cuya capacidad de adherencia es menor debido a rayaduras u otras huellas pueden unirse usando un perno, lo que proporciona una más larga vida en servicio.
4. Si se mantienen unidos los bloques patrón cualquier dimensión para un propósito específico puede lograrse.

También están disponibles bloques protectores del desgaste hechos con carburo.

### *Desventajas*

1. Debido a su mayor masa, los bloques requieren más tiempo para estabilizarse térmicamente.
2. Es difícil utilizarlos en un espacio pequeño debido a su tamaño mayor.

Tradicionalmente la industria mexicana ha utilizado bloques patrón de forma rectangular; por tanto, puede decirse que es raro encontrar bloques patrón cuadrados.

## INSPECCIÓN PERIÓDICA

El tamaño de un bloque patrón está sujeto a diminutos cambios debido al desgaste durante su uso. Pueden ocurrir cambios dimensionales, a través del tiempo, aun si permanecen adecuadamente almacenados.

Para el intervalo entre inspecciones periódicas se da como referencia la tabla 12.12, considerando a factores como el grado del bloque y la frecuencia de uso. También verifique los bloques patrón, buscando rebabas o daños en las caras de medición, una vez al mes o después de cada uso y corrija cualquier problema que detecte.

**Tabla 12.12.**

<i>Aplicación</i>	<i>Intervalo informativo</i>	<i>Grado</i>
Referencia	1-2 años	00
Calibración	2 años	00 o 0
Inspección	2 años	0 o 1
Taller	0.5-1 año	1 o 2

Nota: Los intervalos indicados arriba son una guía general. Bloques patrón de medida nominal mayor, de grado superior y frecuentemente utilizados requieren intervalos más cortos y viceversa.

La norma Federal GGG-G-15c 1975 y la norma ANSI/ASME B 89.1.9 M-1984 sugieren, con recomendaciones similares a las antes mencionadas, lo siguiente:

Grado	Intervalo
0.5	Anualmente
1	Anualmente
2	Mensual o semestral
3	Mensual o semestral

En México muchas compañías han utilizado periodos anuales, sin importar grado o uso, principalmente debido a la escasez de laboratorios y a las dificultades que implicaba mandar calibrar en el extranjero. El servicio de calibración generalmente lo proporcionan laboratorios comerciales que lo realizan mediante comparación. A su vez, estos laboratorios deben enviar a calibrar sus patrones a algún laboratorio primario responsable de mantener el mayor grado de exactitud dentro de un país. Algunos de estos laboratorios son los siguientes:

Oficina Internacional de Pesas y Medidas	BIPM	Francia
Instituto Nacional de Normas y Tecnología	NIST	Estados Unidos
Laboratorio Nacional de Investigación Metrológica	NRLM	Japón
Centro Nacional de Metrología	CENAM	México
Laboratorio Nacional de Física	NPL	Inglaterra

El servicio de calibración de los bloques patrón generalmente consiste en lo siguiente:

- a) Limpieza de los bloques patrón.
- b) Limpieza del estuche de los bloques patrón.
- c) Desmagnetización de los bloques.
- d) Calibración propiamente dicha mediante comparación con bloques patrón de referencia utilizando un comparador electromecánico.
- e) Proteger los bloques patrón con aceite antioxidante.
- f) Elaboración de un certificado de inspección —muy similar al que acompaña a los bloques patrón nuevos— en el que se establecen las desviaciones actuales, en  $\mu\text{m}$  o  $\mu\text{pulg}$ , y los datos de trazabilidad del laboratorio que presta el servicio. (Las desviaciones de paralelismo y planitud sólo se reportan si exceden los valores permitidos.)

Al recibir el certificado de inspección periódica éste deberá analizarse detenidamente para determinar si algún o algunos bloques patrón que hayan sido reportados con una desviación superior a la tolerancia establecida para el grado correspondiente pueden seguir utilizándose en aplicaciones normales sin detrimento de la exactitud. En caso contrario, tal vez sea necesario requerir su reposición por unos nuevos que tengan el grado deseado.

La norma federal GGG-G-15c sugiere que en periodos de recalibración los bloques patrón que se desvíen más del doble de la tolerancia de longitud, planitud o paralelismo para bloques nuevos o los que hayan perdido su capacidad de adherencia deben reemplazarse. Los bloques que únicamente hayan sufrido cambio de longitud no necesitan reemplazarse si las correcciones se hacen a partir del reporte de calibración. Cuando éste indique que el 25% o más de los bloques en un juego deben reemplazarse, todo el juego debe, por lo general, asignarse a un trabajo cuyos requisitos de exactitud sean menores.

### ACCESORIOS PARA BLOQUES PATRÓN

Algunas herramientas auxiliares son necesarias para realizar mediciones. Los siguientes seis tipos de accesorios son especificados por la norma JIS.

1. Limitador semicilíndrico (Fig. 12.20).
2. Limitador plano tipo A y tipo B (Fig. 12.21).
3. Punta para trazar (Fig. 12.22).
4. Punta para centrar (Fig. 12.23).
5. Soportes (Fig. 12.24).
6. Base para soportes (Fig. 12.25).

Además se cuenta con:

7. Regla de tres cantos (Fig. 12.26).
8. Punta de control (Fig. 12.27).

La figura 12.28 muestra los accesorios dentro de su estuche, aunque pueden conseguirse por separado.

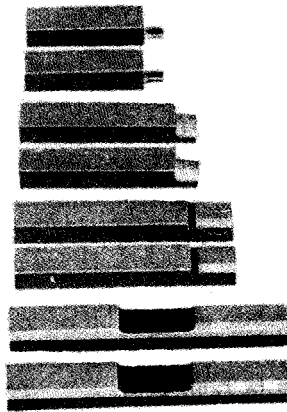


Figura 12.20.

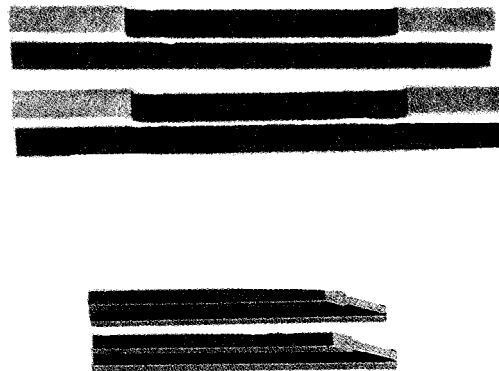


Figura 12.21.



Figura 12.22.



Figura 12.23.



Figura 12.24.

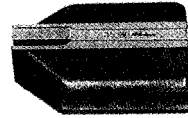


Figura 12.25.



Figura 12.26.



Figura 12.27.

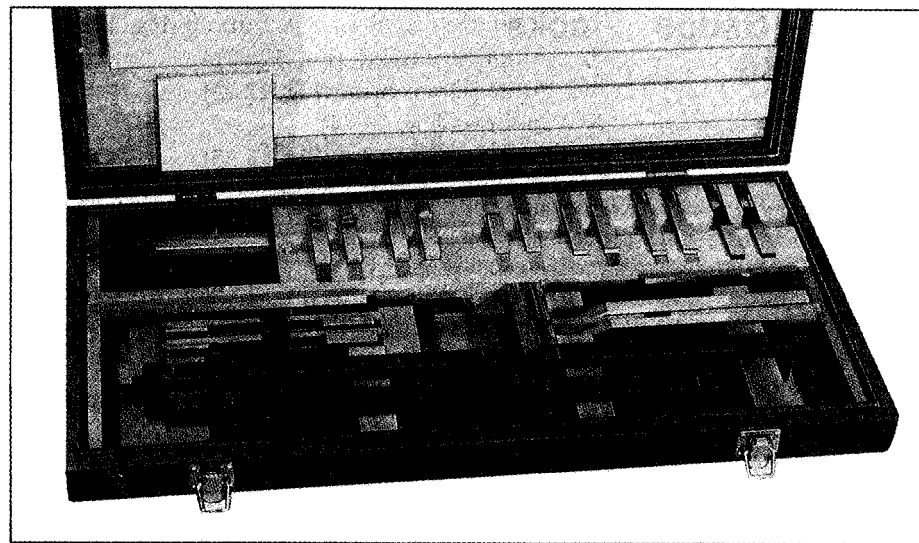


Figura 12.28.

## Uso de los accesorios

### *Unión y sujeción*

El limitador semicilíndrico se usa para medición de interiores y exteriores (Fig. 12.29).

El limitador plano tipo A se usa para medir interiores y exteriores (Fig. 12.30).

El limitador plano tipo B se usa para medir exteriores.

La punta para trazar (Figs. 12.31 y 12.32).

La punta de centrar se usa como centro para trazar círculos (Fig. 12.32).

La punta de control se usa para medir (Fig. 12.33).

La dimensión total de la combinación debe ser la deseada en la unión y ajuste de los accesorios y bloques patrón, los cuales deben ajustarse en el soporte. Los soportes no deben apretarse mucho. Si se hace esto un bloque patrón de 100 mm sufre una reducción de unos 3  $\mu\text{m}$ , como se ha mencionado anteriormente.

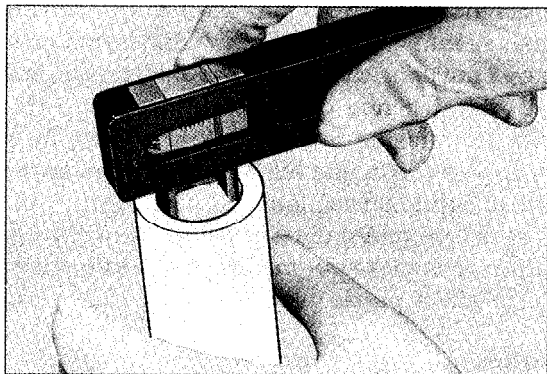


Figura 12.29.

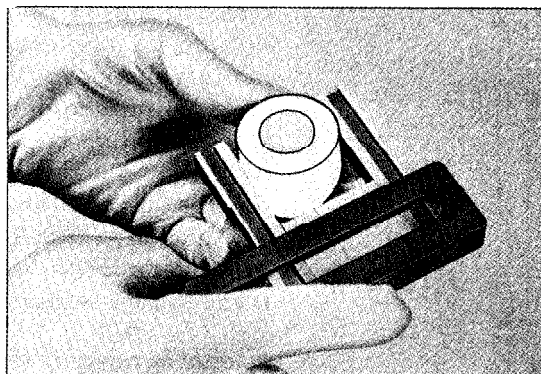


Figura 12.30.

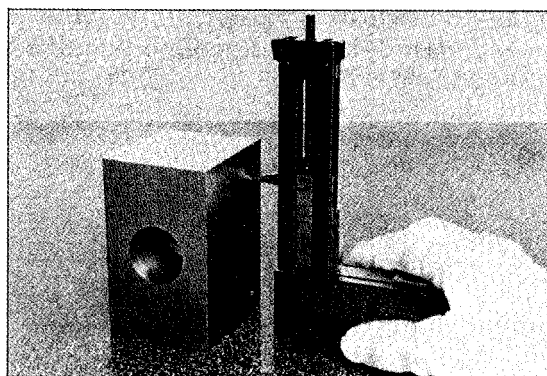


Figura 12.31.

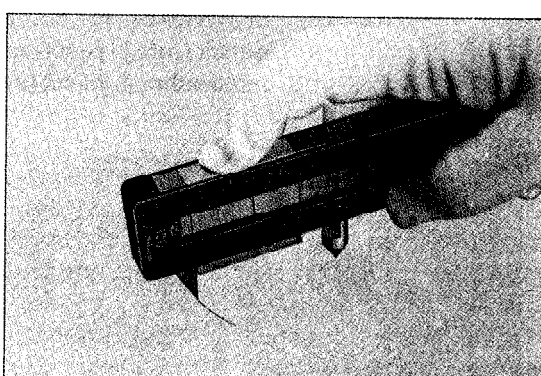


Figura 12.32.

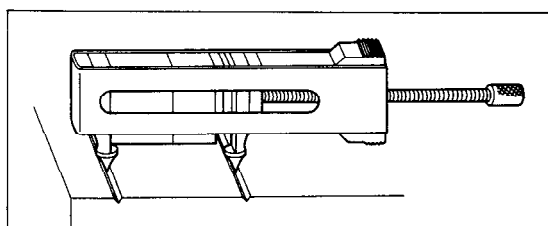


Figura 12.33.

### *Medición de diámetro interior y diámetro exterior*

Lo fundamental en la técnica de medición de interiores y exteriores con bloques patrón y sus limitadores sostenidos por un soporte es unirlos para obtener la dimensión adecuada; si están unidos y tienen la dimensión correcta penetran por gravedad lentamente en la pieza por medir, al sostenerlos ligeramente en el centro de la mesa. Aquí la diferencia de la pieza por medir es aproximadamente de  $2\text{ }\mu\text{m}$ ; los bloques al formar su unión deben tener una dimensión menor en  $2\text{ }\mu\text{m}$  para interiores y mayor en  $2\text{ }\mu\text{m}$  para exteriores. Indudablemente, la diferencia en el tamaño difiere, lo que depende del acabado de la superficie o la deformación de la pieza. Es conveniente hacer dos formaciones de bloques patrón, con sus respectivos soportes, con una diferencia de  $2\text{ }\mu\text{m}$  entre ellos y sentir la diferencia en el tacto al hacer la medición.

Cuando se efectúe una medición nunca debe ejercerse una fuerza excesiva para colocar los bloques patrón en la pieza por medir, ya que esto puede dañar la superficie y la exactitud en el ajuste puede disminuir (Figs. 12.29 y 12.30).

### *Uso de la regla de tres cantos*

Si la planitud está bien, cuando se inspeccione con la regla de tres cantos podrá observarse la luz de  $2$  y  $4\text{ }\mu\text{m}$  en el acabado de la superficie. También en este caso nunca frote la regla contra la superficie de la pieza; asimismo, nunca presione la regla sobre la pieza (Figs. 12.34 y 12.35).

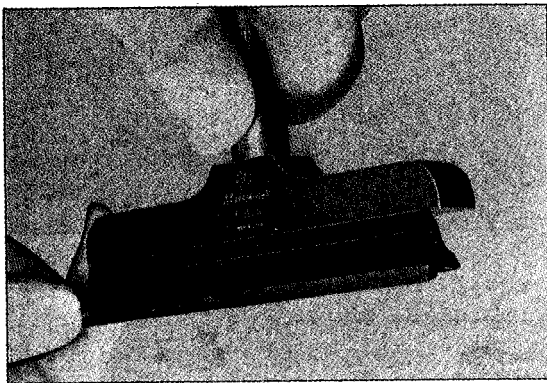


Figura 12.34.

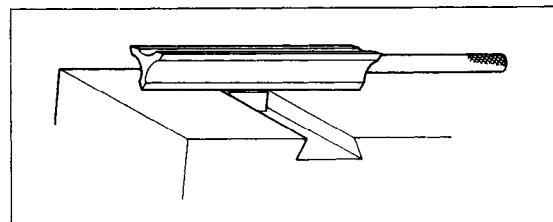


Figura 12.35.

### *Base para soportes*

La base para bloques se usa para medir con exactitud alturas y trazar (Fig. 12.31).

También existen accesorios para bloques patrón cuadrados que sirven para diversos propósitos (Figs. 12.36, 12.37, 12.38 y 12.39).

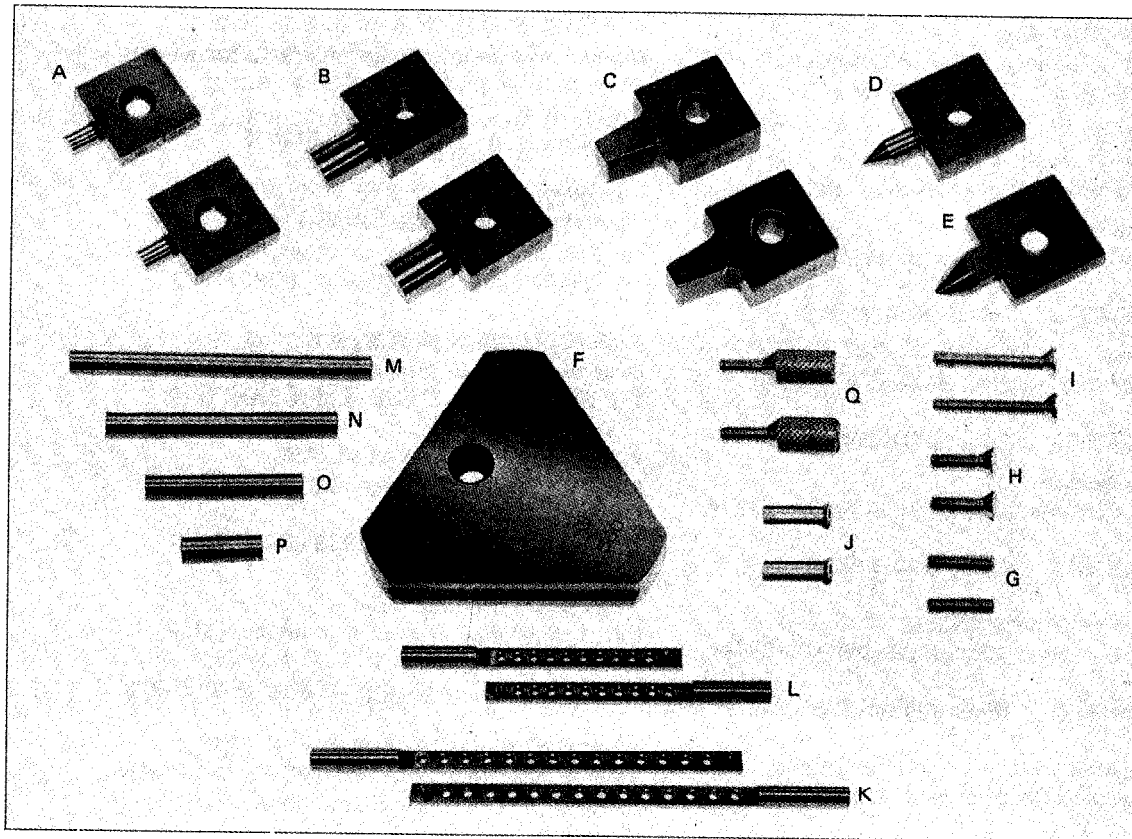


Figura 12.36.

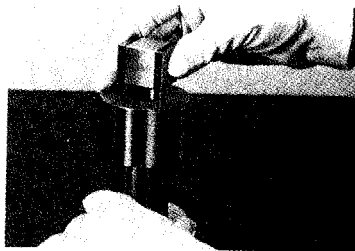


Figura 12.37.

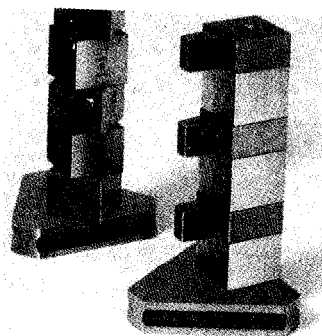


Figura 12.38.

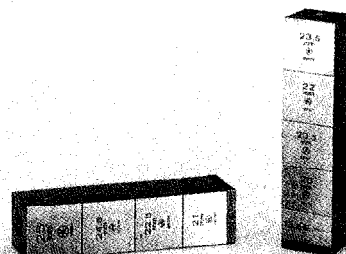


Figura 12.39.



## USO DE LOS BLOQUES PATRÓN

Los usos de los bloques patrón pueden agruparse de la forma siguiente:

- a) Mediciones y trazos diversos (ofrecen mayor variedad cuando se utilizan en combinación con los accesorios).
- b) Puesta a cero de una variedad de instrumentos (Figs. 12.40 y 12.41).
- c) Calibración de instrumentos (Figs. 12.42 y 12.43).

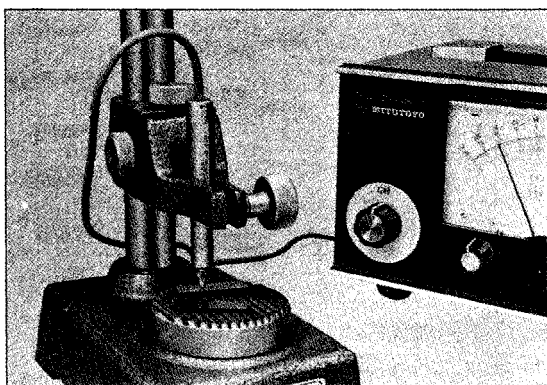


Figura 12.40.

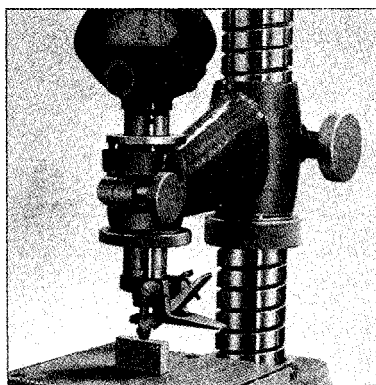


Figura 12.41.

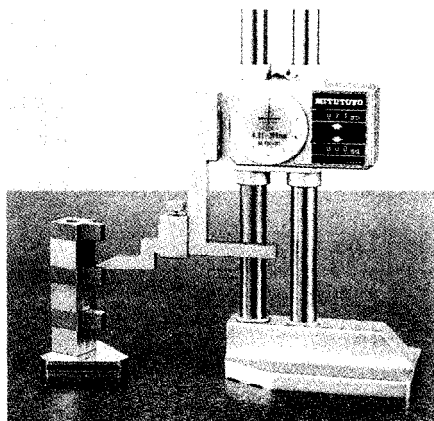


Figura 12.42.

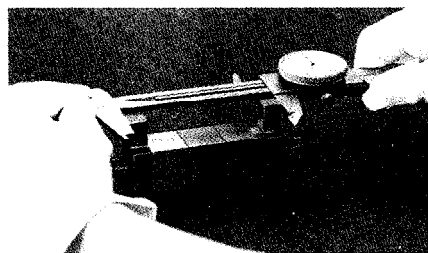


Figura 12.43.

## BLOQUES PATRÓN DE CERÁMICA

Los avances recientes en nuevos materiales ha posibilitado la introducción de bloques patrón hechos de cerámica basada en dióxido de zirconio ( $ZrO_2$ ), la cual ha mostrado ser superior a otras cerámicas utilizadas antes.

La palabra cerámica generalmente se asocia con el término frágil, sin embargo, los bloques patrón no se quiebran o fisuran fácilmente, por lo que debe usarse el término cerámica industrial. Esta afirmación puede comprobarse con pruebas como la que se describe enseguida.

Se utilizan bloques patrón de cerámica y acero de cinco diferentes tamaños como pieza de prueba (0.5, 3, 10, 25 y 100 mm, dos piezas de cada tamaño y cada material). Ambos tipos de bloques patrón se dejan caer desde una altura de 70 cm sobre un piso de concreto. Cada bloque se deja caer en 10 diferentes orientaciones.

Los resultados de la prueba, dados en la tabla 13, muestran que ninguno de los bloques patrón de cerámica o acero sufrieron fisuras, quebraduras o cambios dimensionales. Los bloques patrón de tamaño mayor están más sujetos a marcas o rayaduras en ambos materiales, sin embargo, se observa un mejor comportamiento de los bloques patrón de cerámica.

**Tabla 12.13.**

Tamaño (mm)	Bloques de cerámica					Bloques de acero				
	100	25	10	3	0.5	100	24	10	3	0.5
Marcas	○	■	—	—	—	○	○	○	■	—
Rayaduras	■	—	—	—	—	■	○	—	—	—
Fisuras/quebraduras	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Exactitud dimensional	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Clave: ○ Ambos bloques resultaron dañados  
 ■ Uno de los bloques resultó dañado  
 — Ningún bloque resultó dañado

La tabla 12.14 muestran las propiedades de los materiales de los bloques patrón relacionados con la resistencia mecánica.

Tabla 12.14.

Material	Cerámica (ZrO <sub>2</sub> )	Acero	Carburo (WC-Co)
Dureza vickers	1350	800	1650
Coefficiente de expansión térmica (10 <sup>-6</sup> /K)	10 +/-1	11.5 +/-1	5
Resistencia a la flexión (tres puntos) (kgf/mm <sup>2</sup> )	130	200	200
Resistencia a la fractura K <sub>IC</sub> (MN/M <sup>1.5</sup> )	7	220	12
Módulo de Young × 10 <sup>4</sup> kgf/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	6.3
Relación de Poisson	0.3	0.3	0.2
Peso específico	6.0	7.8	14.8
Conductividad térmica (cal/cm·s°C)	0.007	0.13	0.19

La resistencia a la corrosión de los bloques patrón de cerámica es superior a la de los de acero y carburo, por tanto, en condiciones ordinarias no es necesario tomar ninguna medida especial acerca del cuidado y prevención de la corrosión.

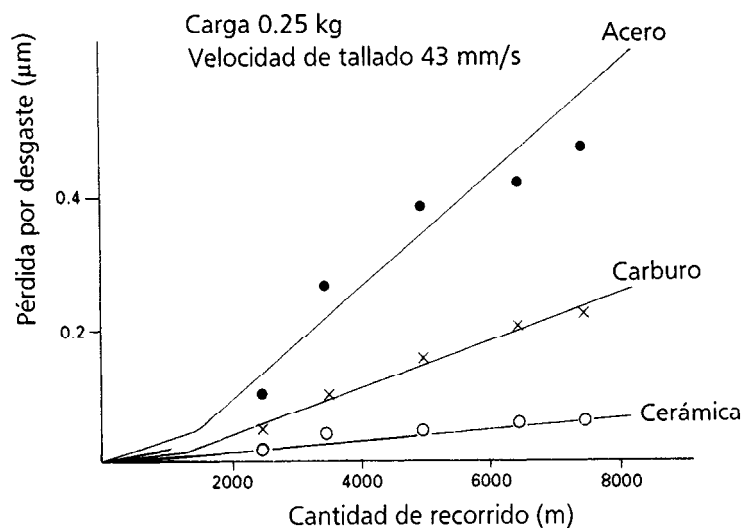


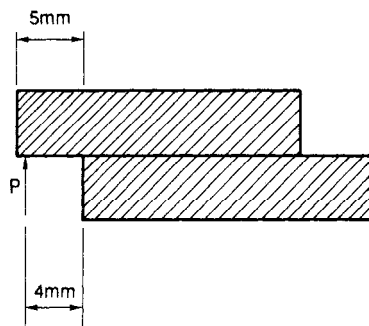
Figura 12.44.

Sin embargo, los bloques patrón están sujetos a diminutos cambios dimensionales cuando son expuestos a ácidos fuertes, por ejemplo: ácido hidrofluórico (HF), ácido hidroclicórico (HCL) o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) o bases fuertes como el hidróxido de sodio (NAOH).

La superior resistencia al desgaste de los bloques patrón de cerámica respecto de los de acero y los de carburo prolonga su vida útil.

Las gráficas de la figura 12.44 muestran los resultados de una prueba de desgaste con bloques patrón de cerámica, carburo y acero. Cada bloque fue cargado idénticamente y tallado en un movimiento circular sobre una placa de hierro fundido.

Los resultados muestran que la resistencia al desgaste de los bloques patrón de cerámica es más de cinco veces mayor que la de los bloques de acero y más de tres veces que la de los de carburo. Esto se debe a que la cerámica tiene un bajo coeficiente de fricción y a que su estructura de grano es muy densa y homogénea. Esta estructura también permite una fuerte adherencia de los bloques patrón de cerámica (Figs. 12.45 y tabla 12.15).



Se adhieren dos bloques patrón de modo que uno quede corrido 5 mm con respecto al otro, se aplica una carga en un punto localizado a 4 mm desde el otro bloque (indicado por *P*) y se mide la fuerza cuando los dos bloques se separan.

Figura 12.45.

Tabla 12.15. Fuerza de adherencia (Kgf)

Bloques de cerámica	Bloques de acero	Bloques de carburo
3.8	2.9	4.2

El coeficiente de expansión térmica de la cerámica es muy cercano al del acero (véase la tabla 12.14), por tanto, los bloques patrón de cerámica pueden utilizarse para medir partes de acero sin considerar en forma especial el coeficiente de expansión térmica. Sin embargo, dado que la conductividad térmica de la cerámica es relativamente baja, la temperatura de los bloques patrón de este material no responden tan rápidamente a los cambios en la temperatura ambiente como lo hacen los bloques patrón de acero. Por tanto, debe tenerse cuidado cuando se utilicen los bloques patrón de cerámica en un medio ambiente en el que ocurran grandes fluctuaciones de temperatura (Fig. 12.46).

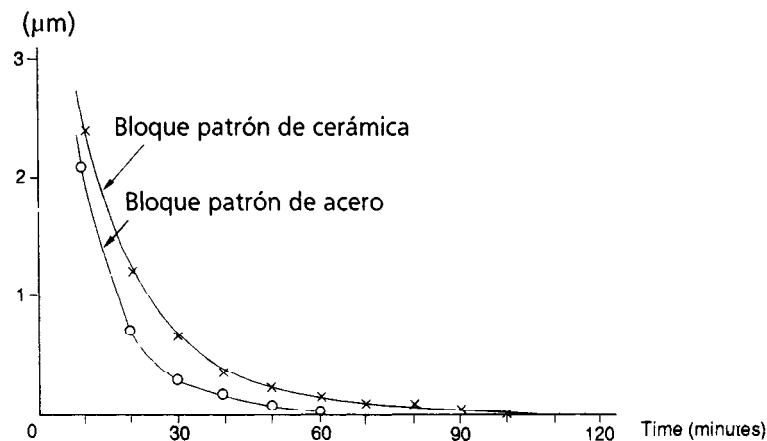


Figura 12.46.

A diferencia de los bloques patrón de acero, los cambios dimensionales de los de cerámica son muy ligeros. Los cambios dimensionales de un bloque patrón de cerámica de 100 mm después de sinterizado y los de uno de acero de 100 mm después del tratamiento térmico se muestran en la figura 12.47. Como puede observarse, los cambios dimensionales de los bloques patrón de cerámica son muy pequeños después del sinterizado. En los bloques patrón de acero ocurren grandes cambios dimensionales durante los primeros meses posteriores al tratamiento térmico. Por esta razón, la calibración final por el fabricante de los tamaños de los bloques patrón se realiza cuando los cambios dimensionales han ocurrido normalmente de tres a cinco meses después del tratamiento térmico.

Las rayaduras o rebabas sobre las caras de medición de los bloques patrón pueden eliminarse con facilidad utilizando la piedra de Arkansas y el mismo procedimiento descrito para los bloques patrón de acero.

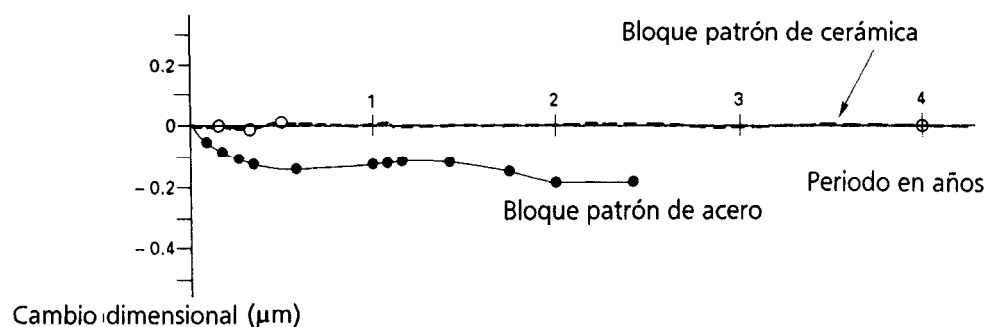


Figura 12.47.

Otros tipos de cerámica están aplicándose en la fabricación de accesorios, por ejemplo: escuadras de sujeción y paralelas, así como en las máquinas de medición por coordenadas.

### Normas de referencia

JIS B-7506-1989  
ANSI/ASME B 89.1.9 M-1984  
ANSI/ASME B 89.1.2 M  
DIN 861-1980  
ISO 3650-1978  
BS 4311 parte 2-1977  
FEDERAL SPECIFICATION GGG-G 15c-1975  
BS 4311 parte 1-1968  
BS 888-1950

Para un tratamiento normal de la incertidumbre se recomienda consultar la siguiente referencia GUIDE TO THE EXPRESSION OF UNCERTAINTY IN MEASUREMENT (1993) preparada conjuntamente por expertos del BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) IEC (International Electrotechnical Commission) ISO (International Organization for Standardization) y OIML (International Organization of Legal Metrology).



## Superficies planas de referencia

### HISTORIA

La primera persona que descubrió la importancia de una superficie plana debió encontrar que la planitud proporciona una base que asegura la estabilidad de los objetos colocados sobre ella.

La naturaleza rara vez, si es que alguna vez lo ha hecho, ha producido una superficie plana. Aun la superficie de una cierta cantidad de agua, en la calma de un atardecer frío, tenderá a curvarse por la fuerza de la gravedad y la presión atmosférica conforme la longitud y el ancho de la superficie aumenten. La planitud, por lo tanto, no puede asumirse, por lo que el hombre debe producirla utilizando los materiales de que dispone.

Un método para obtener la planitud lo proyectaron los egipcios utilizando tres barras delgadas para producir superficies planas de acoplamiento en las piedras que usaban para la construcción. Las tres barras tenían exactamente la misma longitud; dos de estas barras redondas eran soportadas en una posición perpendicular sobre el extremo superior de una piedra y manteniendo tensa una cuerda que cruzara su superficie establecían una línea recta de referencia. Después, moviendo la tercera barra perpendicularmente debajo de la cuerda, los puntos altos podían verse y marcarse fácilmente. Unas bolas de granito negro eran usadas para golpear y frotar los puntos elevados y así nivelar la superficie hasta dejarla plana.

Como la exactitud de las mediciones realizadas sobre una superficie de referencia es proporcional a la exactitud de ésta, es necesario conocer la exactitud de la superficie de referencia para determinar su capacidad para el trabajo que se realizará sobre ella.

El esfuerzo humano para producir superficies de referencia más planas se confronta con la creación del mejor método para usarse en un material que tenga las propiedades para preservar la planitud producida.

El primer método de maquinado capaz de producir superficies paralelas duplicadas en metal lo proporcionó, en 1817, el invento de Richard Robert: el planificador. Actualmente, las rectificadoras de superficie y las máquinas lapeadoras producen superficies planas con una exactitud conocida.

A Henry Maudslay, quien inventó el primer torno para cortar roscas en 1797, se le puede dar el crédito de haber sido el primero en producir superficies planas por medio del rellenado y lapeado a mano con partículas abrasivas.

Alrededor de 1840 sir Joseph Whitworth introdujo el raspado abrasivo a mano. Este método permite un mayor control de la eliminación de material de los puntos altos sobre las superficies de referencia.



Para superar las diferencias en el material de las superficies hechas de acero y hierro fundido, los fabricantes redescubrieron lo que los egipcios conocían hace 5000 años: que el granito negro es el material ideal. El granito negro es una forma original de roca que produce la naturaleza; está compuesto de gabbros y basaltos

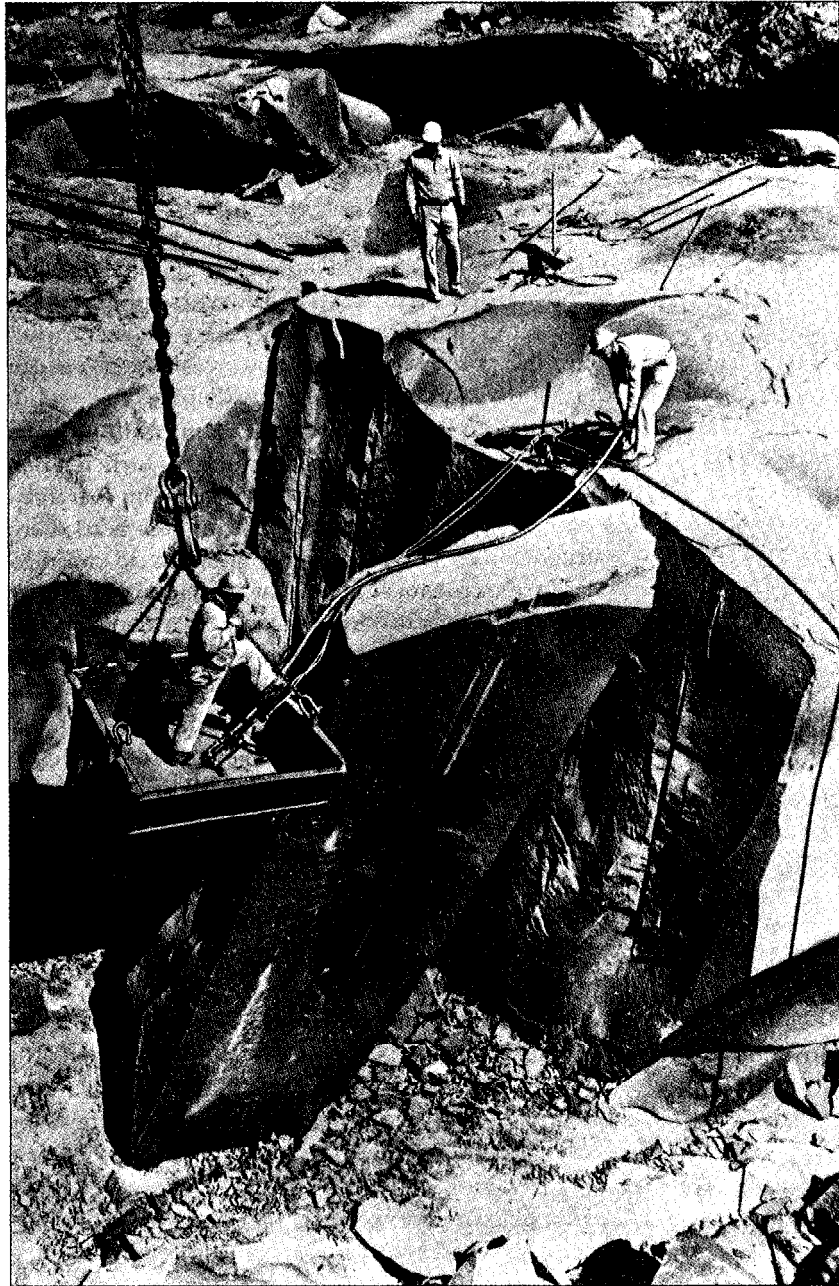


Figura 13.1.

(o dioritas) y es el material natural más durable ya que combina resistencia al desgaste, choque y ataque químico más dureza y estabilidad, además de maquinabilidad, lo que permite la manufactura de superficies de referencia de bajo costo.

En la producción de superficies de referencia de granito negro, las rocas o bloques de la cantera (Fig. 13.1) se cortan con alambre (Fig. 13.2), para formar losas más o menos paralelas, y luego son cortadas al tamaño y forma deseados utilizando una herramienta de corte con punta de diamante (Fig. 13.3 y 13.4). El rectificado con piedra hace plana la superficie como lo revela una barra recta que cuenta con indicadores de carátula. El acabado final de la superficie es una operación de lapeado revisada y calibrada mediante un autocolimador y un sistema de nivel electrodigital computarizado.

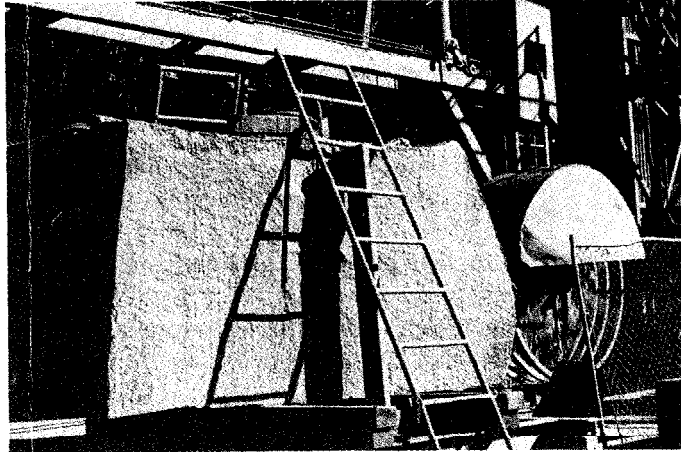


Figura 13.2.

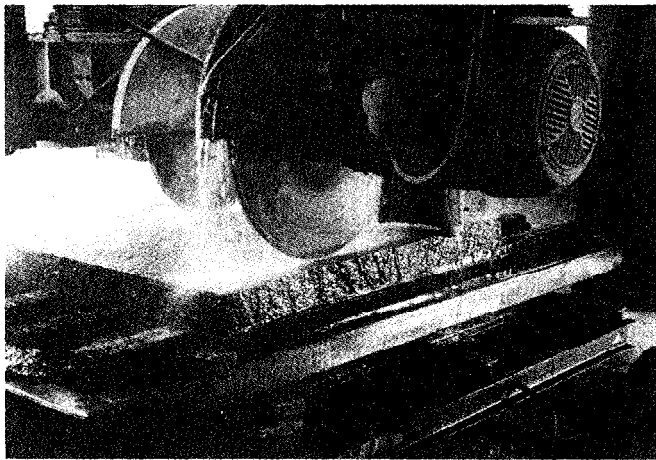


Figura 13.3.

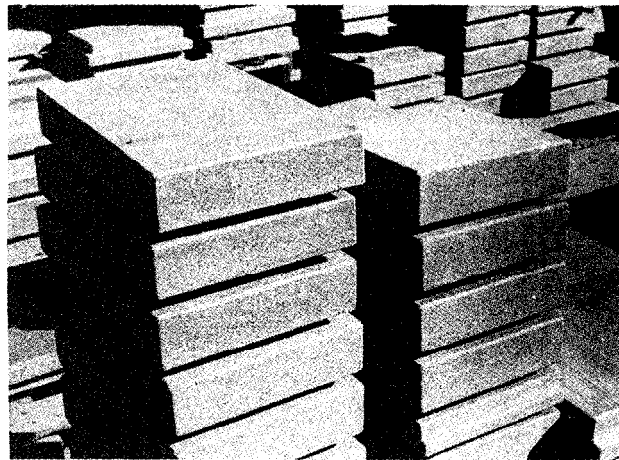


Figura 13.4.

Actualmente no hay excusa para no utilizar un plano de referencia confiable y así asegurar la exactitud posicional en la medición de alturas y ángulos. El granito negro es el material para superficies de referencia que preserva su exactitud de planitud conocida. Un programa continuo de inspección periódica de una superficie plana de referencia que cuente con herramientas modernas de medición asegurará que las mediciones hechas sobre la superficie sean realizadas con exactitud y repetibilidad.

## MESAS DE GRANITO

Una gran cantidad de instrumentos de medición, así como las piezas que se desee verificar, requieren de una superficie de referencia cuyas características le otorguen confiabilidad al proceso de medición.

Los instrumentos que con mayor frecuencia requieren de una superficie de referencia confiable son: medidor de alturas, medidor maestro de alturas, micro-comparador electrónico, bloques patrón, indicadores de carátula, regla de senos. Además de estos instrumentos existen algunas máquinas que también requieren una superficie de referencia, por ejemplo: máquina de medición por coordenadas.

Básicamente, existen dos tipos de superficies (mesas de trazado) que pueden servir como referencia en el proceso de medición: las de hierro fundido o las de granito. Éste puede ser rosa o negro, aunque también hay blanco, verde y gris. El más destacado es el granito negro debido a su dureza (escleroscopio Shore).

La figura 13.5 muestra los nombres de las partes para las superficies planas de referencia según la norma JIS.

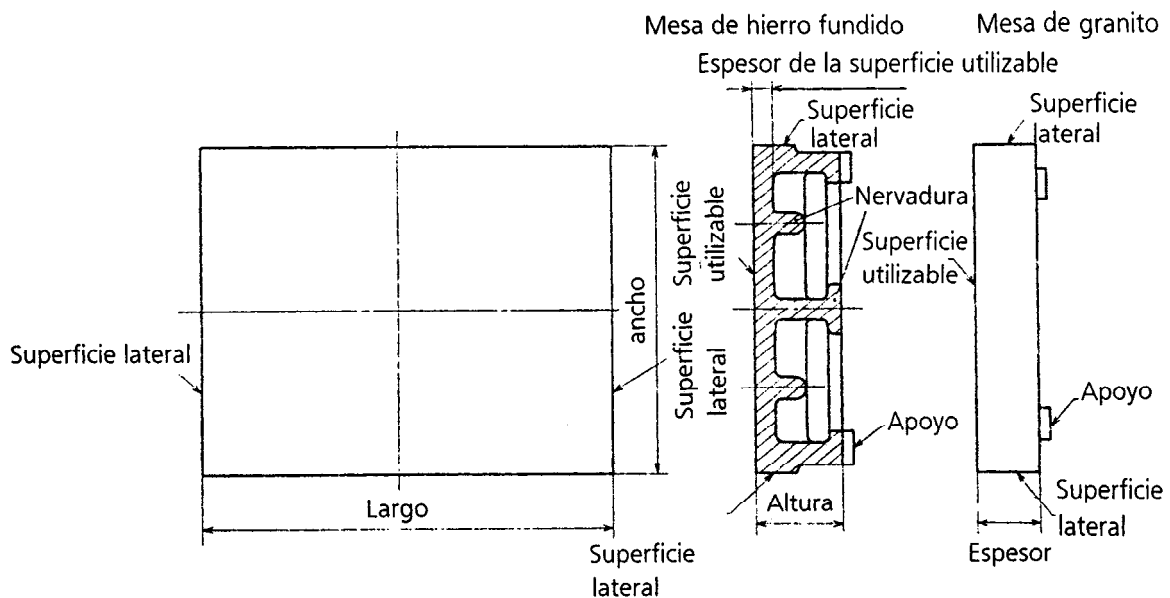


Figura 13.5.

## **Características de las mesas de granito negro**

Las superficies de referencia más utilizadas son las de granito negro y las de hierro fundido. Por lo tanto, a continuación se citan algunas características de las mesas de granito negro comparándolas con las de hierro fundido.

### ***Dureza***

El granito negro es dos veces más duro que el hierro fundido (granito negro 73-90 de dureza Shore, hierro fundido 32-40 de dureza Shore); según algunos experimentos, presenta una resistencia al desgaste 7.5 veces mayor.

### ***Estabilidad dimensional***

El granito es una piedra natural que se ha estado estabilizando durante millones de años, lo que garantiza que al paso del tiempo sus dimensiones no variarán significativamente por efectos de los esfuerzos de sus moléculas. A diferencia de las de granito, las mesas de hierro fundido son propensas al cambio de sus dimensiones al paso del tiempo debido a los esfuerzos residuales.

### ***Coefficiente de conductividad térmica***

El coeficiente de conductividad térmica del granito es casi 45 veces menor que el del hierro fundido. Coeficiente de conductividad térmica del granito: 1.05 kcal/mh°C; coeficiente de conductividad térmica del hierro fundido: 45.0 kcal/mh°C. El coeficiente de expansión térmica para muchos granitos es de  $3 \text{ a } 4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$ .

### ***Daños por golpes***

Si al granito lo daña un golpe, esto no causa rebabas sobre la superficie, la cual se mantiene sin bordes que alteren las mediciones o dañen los instrumentos o accesorios de medición como sucedería con el hierro fundido.

### ***Corrosión***

El granito es resistente a la corrosión, incluso la que provocaría el ácido sulfúrico al 5% sería prácticamente insignificante, mientras que en las mismas condiciones el hierro fundido se corroe alrededor de 59 veces más. Esto significa que las mesas de granito pueden usarse en plantas químicas y que no es necesario mantenerlas aceitadas, lo cual también ahorra mantenimiento.

### ***Texturas de la superficie***

Las mesas de granito son sometidas a un tratamiento de pulido (microlapeado) mediante una técnica especial que utiliza polvo de diamante, lo que permite obtener una textura fina que no podría alcanzarse en una mesa de fundición por ningún proceso de rectificado.

Es importante la textura de la superficie para facilitar el desplazamiento de los instrumentos de medición. Además, los granitos tienen un acabado antirreflejante que evita el cansancio visual.

### *Otras características del granito*

Es totalmente inerte al magnetismo, por lo que pueden usarse equipos magnetizados sobre su superficie. Se puede lavar fácilmente con agua y jabón, de preferencia neutro, o con cualquier solvente ligero sin que se manche o decolore, aunque debe secarse cuidadosamente para evitar la oxidación del equipo que sea utilizado sobre su superficie.

La exactitud de la planitud en las mesas de granito depende de las normas con las que haya sido fabricada y del uso que se le asigne (trabajo de laboratorio, inspección o taller, véanse las tablas 13.1 y 13.2).

**Tabla 13.1.** Valores en micropulgadas

Ancho	Largo	Grado		
Pulgadas		AA	A	B
12	12	50	100	200
12	18	50	100	200
18	18	50	100	200
18	24	75	150	300
24	24	75	150	300
24	36	100	200	400
24	48	150	300	600
36	36	150	300	600
36	48	200	400	800
36	60	250	500	1000
36	72	300	600	1200
48	48	200	400	800
48	60	300	600	1200
48	72	350	700	1400
48	96	500	1000	2000
48	120	700	1400	2800
60	120	750	1500	3000
72	96	600	1200	2400
72	144	1100	2200	4400

Federal Specification GGG-P-463C-1973.

**Tabla 13.2.** Valores permisibles de planitud de la superficie utilizable

Tamaño de la superficie utilizable (mm)	Valores permisibles de planitud de la superficie utilizable ( $\mu\text{m}$ )			Longitud de la diagonal (Referencia) (mm)
	Grado 0	Grado 1	Grado 2	
250 × 250	2	4	8	354
400 × 250	3	5	10	472
400 × 400	3	6	12	566
630 × 400	4	8	16	746
630 × 630	5	9	18	891
1000 × 630	6	12	24	1182
1000 × 1000	8	15	30	1414
1600 × 1000	10	19	38	1887
2000 × 1000	12	23	46	2236
2500 × 1600	15	30	60	2968

Norma JIS B 7513-1978

Para determinar el grado necesario considere que no más de un décimo de la tolerancia indicada en los dibujos de las piezas por inspeccionar debe perderse debido a errores de medición.

Tolerancia en el dibujo	Error permisible en la repetición de la medición	Grado de superficie de referencia recomendado
.001"	.0001"	Taller B
.0005"	.00005"	Inspección A
.00025" o menor	.000025"	Laboratorio AA

### Recomendaciones para uso y conservación

En virtud de que las mesas de granito prácticamente no requieren de mantenimiento, es necesario observar ciertos cuidados, desde su instalación, para obtener su máximo rendimiento; a continuación se citan algunos de ellos.

#### Lugar de instalación

Aun cuando las mesas de granito son prácticamente insensibles a los cambios de temperatura, es recomendable que el lugar donde se instalen tenga una temperatura estable que evite las variaciones que pueden sufrir, durante la medición, los instrumentos que se utilicen o las piezas por medir. Asimismo, es necesario evitar la luz solar directa sobre las mesas de granito.

Es necesario que las mesas de granito sean instaladas en un lugar donde no haya vibraciones o se utilicen soportes resilientes aislantes de la vibración,

porque de lo contrario podría resultar afectado el funcionamiento de los instrumentos o aparatos que se utilizarán sobre dichas mesas.

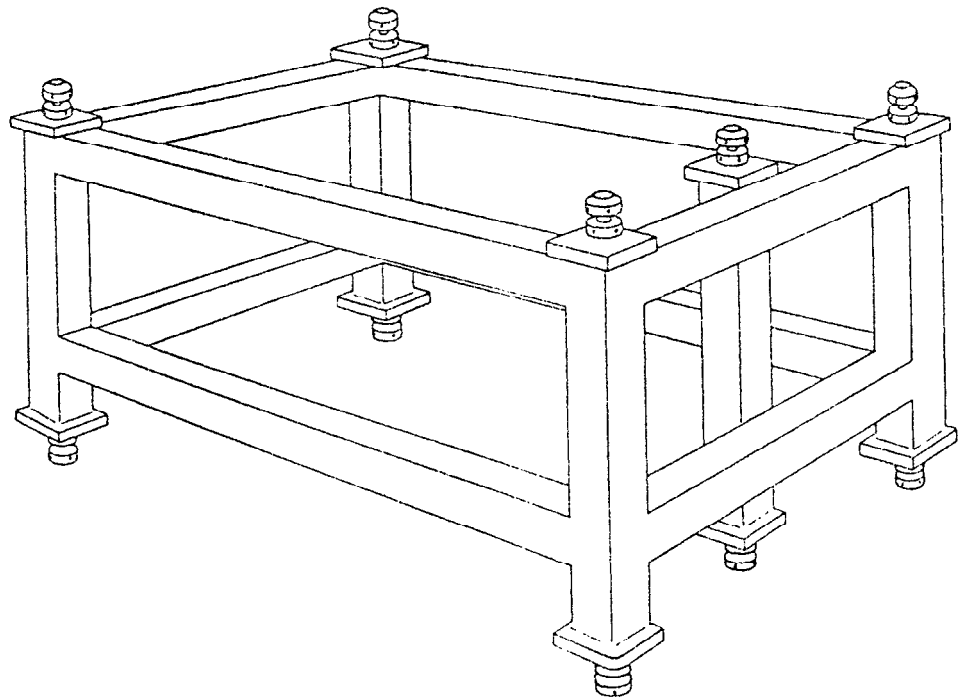
### ***Limpieza***

Es recomendable que antes de hacer cualquier medición sobre la mesa de granito ésta se limpie perfectamente para evitar que el polvo o cualquier otra partícula extraña influya en la medición y provoque un error.

### ***Instalación***

Durante la instalación debe de tenerse cuidado que las mesas de granito queden perfectamente niveladas sobre una base fabricada *ex profeso*, como la que se muestra en la figura 13.6. La mesa debe contar con tres tornillos de nivelación para facilitar este objetivo. Los otros dos tornillos deben ajustarse para que soporten la mesa sin modificar la nivelación, pero que eviten el movimiento de la mesa cuando se coloquen piezas sobre ella.

Es recomendable, con el objeto de mantener la deflexión de las mesas causadas por su propio peso, que los dos puntos soporte (para nivelación) estén



**Figura 13.6.**

localizados a una distancia de  $0.22l$  y  $0.22a$  desde el borde y que el tercer punto soporte esté localizado a  $0.22l$  y  $0.5a$ .\*

### ***Inspección***

Aun cuando se ha mencionado que las mesas de granito son 7.5 veces más resistentes al desgaste que las mesas de fundición, obviamente también están sujetas al desgaste por uso; por tanto, es recomendable que semestral o anualmente (según el grado, condiciones y frecuencia de uso) se realice una inspección con objeto de verificar si las características de la mesa concuerdan con las especificaciones; y el resultado deberá registrarse en una tarjeta de control. Si el resultado de la calibración muestra valores que no satisfagan los requerimientos, la mesa debe degradarse, relapearse para mantener su grado o reemplazarla.

### **Cuidados**

- a) Utilice toda la superficie de una mesa de modo que el desgaste sea uniforme en toda la superficie y no se concentre sobre un área particular. Cuando un área específica de la superficie de referencia se utiliza mucho se sugiere que sea girada  $180^\circ$  periódicamente para incrementar su vida útil.
- b) La superficie de referencia no debe sobrecargarse.
- c) Sea cuidadoso al mover las piezas que estén siendo medidas así como los instrumentos que estén siendo usados.
- d) Coloque sobre la superficie únicamente lo necesario.
- e) Evite, sobre todo, golpear los bordes.
- f) No deje encima objetos metálicos más del tiempo necesario.
- g) Limpie la superficie antes y después de usarla.
- h) Cuando no esté en uso, proteja la superficie colocándole un paño suave y grueso encima.

### **Accesorios**

Los accesorios de granito se han vuelto indispensables para la industria moderna, ya que establecen un plano de referencia del cual todas las mediciones comienzan y son transferidas o interpoladas. Si se los usa con calibradores fijos se convierten en calibradores funcionales.

Las modernas técnicas de calibración tienen una demanda siempre creciente para estos estándares básicos de referencia. La aceptación del granito negro como el material más apropiado para los accesorios por su aplicación y confiabilidad se ha expandido.

***Escuadras de sujeción.*** Éstas proveen una manera conveniente y práctica de sujetar y soportar trabajo en posición vertical; su excelente acabado, planitud y exactitud las hacen compatibles para usarse en las mesas de granito. Algunas

\* Se puede observar que el coeficiente que afecta a, l y a, tiene como base la localización de los puntos de soporte de acuerdo con la minimización de deformación que proporcionan los puntos Bessel.



escuadras de sujeción cuentan con insertos roscados para cumplir mejor sus propósitos.

**Paralelas.** Son útiles para elevar el trabajo sobre la superficie de una mesa, por lo que partes con hombros o escalones pueden inspeccionarse fácil y rápidamente; se consiguen en pares.

**Bloques huecos.** Éstos se usan para obtener una superficie de trabajo muy exacta y paralela a la superficie de la mesa. Las partes de piezas difíciles de inspeccionar o piezas de formas desiguales o raras pueden colocarse sobre una paralela para realizar una inspección más fácil.

**Cubos.** Estos accesorios forman una referencia plana perpendicular y paralela para el trabajo que se efectúa en la superficie de una mesa. Se consiguen solos o en pares.

**Bloques escalonados.** Se suministran en pares, y resultan perfectos para la inspección de partes pequeñas. Al contrario que las de acero, pueden usarse con seguridad para montar piezas por maquinar sin pérdida de la exactitud debida a hendiduras, rebabas u oxidaciones.

**Bloques V.** Sirven para soportar y sostener piezas cilíndricas durante la fabricación o inspección. Se consiguen en pares.

**Escuadra de sujeción universal.** Tienen aplicaciones similares a las escuadras de sujeción. Sus seis caras están a escuadra y son paralelas.

**Bordes rectos.** Éstos pueden usarse para comprobar la planitud de las guías o bancadas de máquinas, mesas de trazo u otras incontables aplicaciones. Su diseño rectangular otorga máxima rigidez y fuerza.

**Regla de senos con cabeza y cola de milano.** La unidad combina funciones de regla de senos y banco de contrapuntos. Si se le monta una cabeza indexadora a la ranura T pueden inspeccionarse partes rectificadas sin centros. Las ranuras T también otorgan un punto ideal de sujeción para abrazaderas y otros dispositivos especiales.

**Mesas de senos.** Diseñadas para el establecimiento de ángulos, las mesas de senos de granito combinan una gran exactitud y larga duración a un precio bajo. Agujeros, insertos y ranuras T son provistos en diversos modelos para facilitar la sujeción.

**Piedra de Arkansas.** Ideal para remover marcas microscópicas, rebabas, etcétera, de los bloques patrón o de otras superficies de instrumentos de medición lapeadas, lisas y planas. No daña el acabado fino de las superficies sobre las que se utiliza.

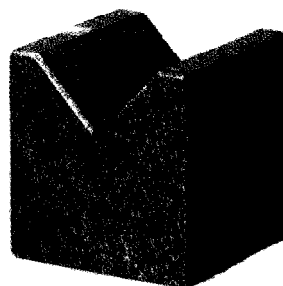
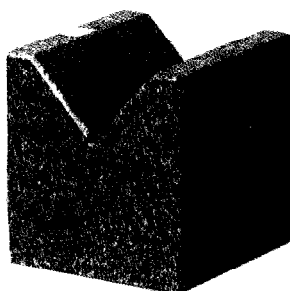
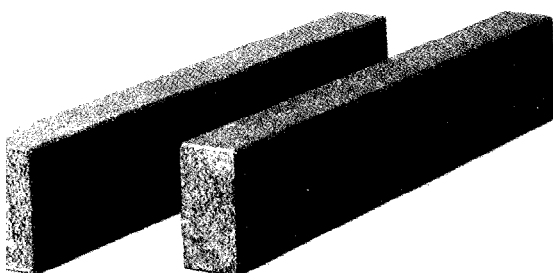
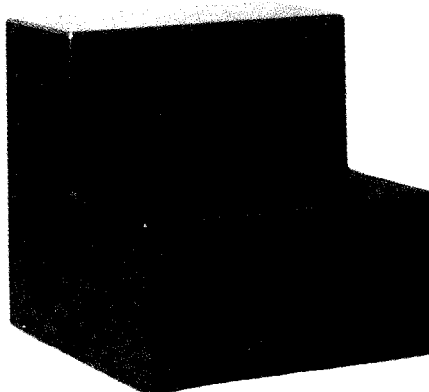
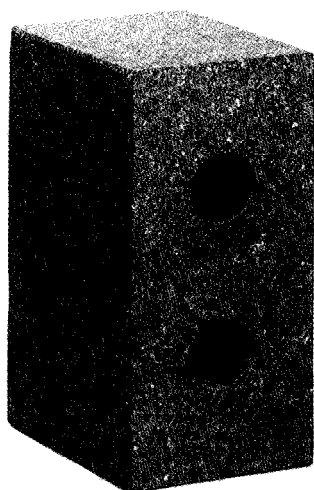
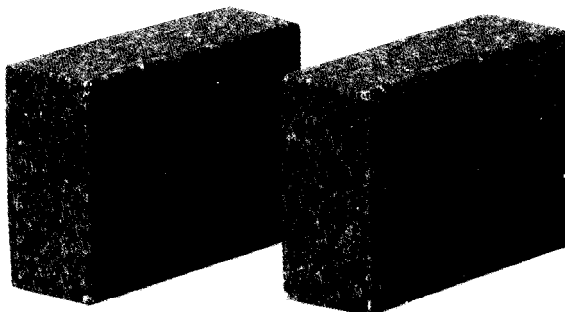
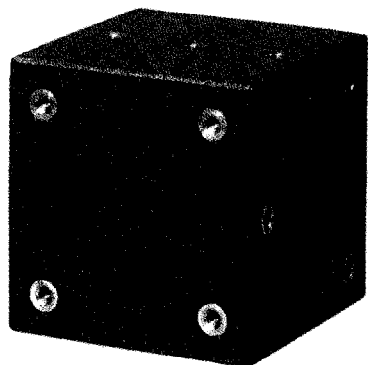
**Plataforma para mordazas magnéticas.** Este accesorio proporciona un medio para comprobar la profundidad del corte cuando se está torneando y maquinando con mordazas magnéticas. Por medio del indicador pueden tomarse lecturas entre los pasos sin interrumpir el trabajo. También puede conseguirse en pares según se requiera.

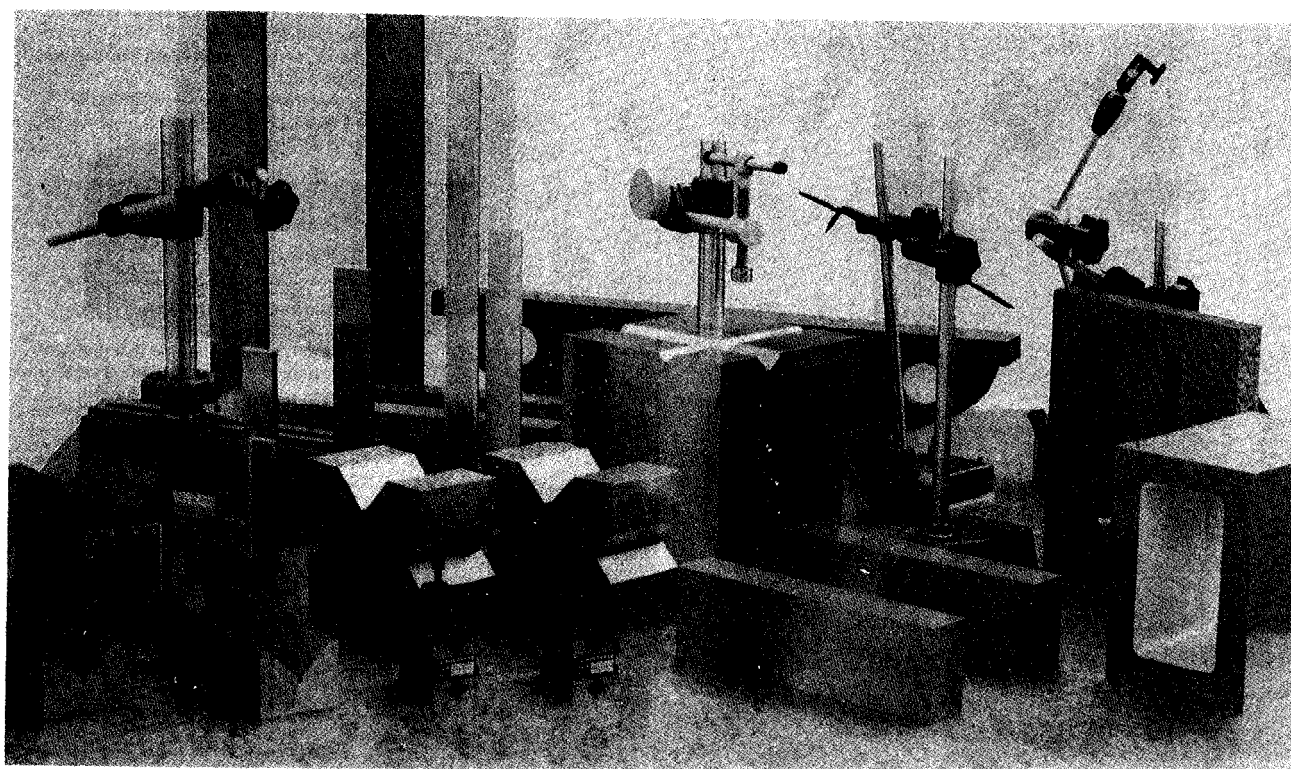
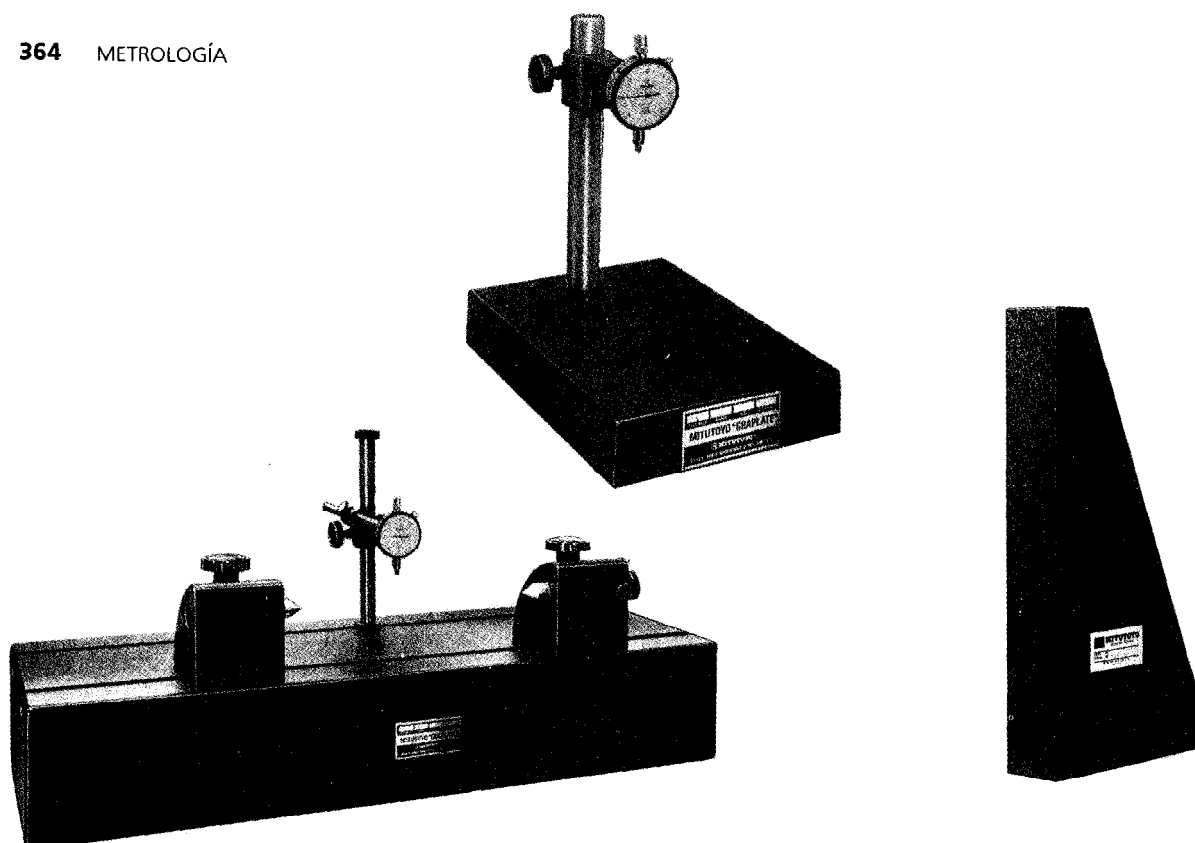
**Prisma para poner a escuadra.** Ésta puede usarse tanto en posición vertical como horizontal para una gran variedad de trabajos.

**Comparadores de banco.** Éstos son de gran exactitud y muy fiables para la medición de cabeceo (*runout*), profundidad, ángulos, planitud, escalones, an-

Cada comparador de banco incluye una mesa de base de granito, poste vertical y horizontal, unión giratoria y ajuste fino.

Las siguientes figuras muestran algunos de estos accesorios, algunos hechos de granito y otros de acero.





# Medición angular

## INTRODUCCIÓN

Dos rectas que se cruzan en un punto forman un ángulo que por lo general se indica con letras griegas y en dibujos de ingeniería directamente con el valor numérico (Fig. 14.1).

La unidad de medición angular en el SI es el radián, pero permite usar la unidad llamada grado, la cual es la que más comúnmente se utiliza en la industria. El símbolo para el grado es una pequeña circunferencia, por ejemplo: **veinticinco grados se escribe  $25^\circ$** .

Para expresar partes de un grado puede utilizarse la forma decimal o la sexagesimal. En este último caso se utiliza una comilla para indicar minutos y dos comillas para indicar segundos, así, quince grados, diez minutos y quince segundos se escribe como  $15^\circ 10' 15''$ .

En caso de que no sea necesario expresar segundos o minutos no hace falta poner  $0''$  o  $0'$ , pero para valores menores a un grado se requiere indicar  $0^\circ$  o  $0'$  según corresponda, por ejemplo:

$15^\circ$ ,  $20^\circ 10'$ ,  $0^\circ 15'$ ,  $0^\circ 20' 10''$ ,  $0^\circ 0' 35''$

Se denominan ángulos agudos aquellos que son menores de  $90^\circ$ .

Se denominan ángulos obtusos los que son mayores de  $90^\circ$  pero menores de  $180^\circ$ .



Figura 14.1.

Los ángulos expresados en forma decimal también pueden expresarse en notación sexagesimal y viceversa, según se ilustra en los siguientes ejemplos:

Para convertir  $20.25^\circ$  a la forma sexagesimal se multiplica la parte decimal por  $60'$  obteniéndose  $20^\circ 15'$ .

Para convertir  $20^\circ 15'$  a la forma decimal se dividen los minutos entre 60 y se obtiene la parte decimal:  $20.25^\circ$ .

Para convertir  $10^{\circ} 20' 27''$  a la forma decimal se dividen los segundos entre 60 para obtener la parte decimal de minutos y se obtiene  $20.45'$ , que al dividirlos nuevamente entre 60 nos da la parte decimal de grados y, finalmente queda,  $10.34^{\circ}$ .

En caso necesario los grados pueden convertirse a radianes, y viceversa, utilizando la siguiente relación:

$$180^{\circ} = \pi \text{ radianes}$$

$$\text{Por tanto } 1^{\circ} = 0.017453 \text{ radianes}$$

$$1 \text{ rad} = 57.29578^{\circ}$$

## EL TRANSPORTADOR Y EL GONIÓMETRO

El instrumento usual para medir ángulos es el transportador (Fig. 14.2), en el que un semicírculo dividido en 180 partes iguales permite lecturas angulares con incrementos de  $1^{\circ}$ .

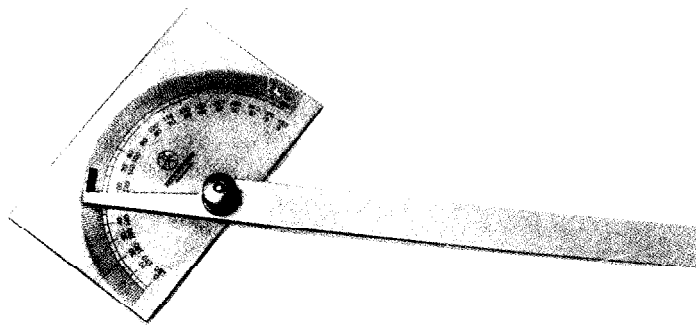


Figura 14.2.

La figura 14.3 ilustra otro tipo de transportador que combina una regla metálica y dos piezas adicionales denominadas block de centros y escuadra; al conjunto se le denomina escuadra de combinación. La figura 14.4 ilustra cómo medir ángulos con este tipo de transportador, mientras que la figura 14.5 muestra otras aplicaciones, por ejemplo: trazado de líneas a  $90^{\circ}$  de una superficie, localización de centros de piezas cilíndricas, medición de alturas y profundidades y verificación de superficies nominalmente a  $45^{\circ}$  y  $90^{\circ}$ .

La figura 14.6 muestra un transportador electrodigital que sirve para medir inclinaciones en relación con la horizontal o la vertical con una resolución de  $.01^{\circ}$  (de 0 hasta  $20^{\circ}$ ) y  $.1^{\circ}$  (de 0 hasta  $60^{\circ}$ ).

Cuando se desea medir con mayor exactitud los ángulos entre dos superficies es recomendable utilizar el goniómetro. Éste es un instrumento que cuenta con dos barras que pueden colocarse al ángulo deseado (Fig. 14.7) para realizar la medición y que puede sujetarse a un medidor de alturas (Fig. 14.8). El goniómetro consiste de un círculo graduado en grados, y numerado cuatro veces

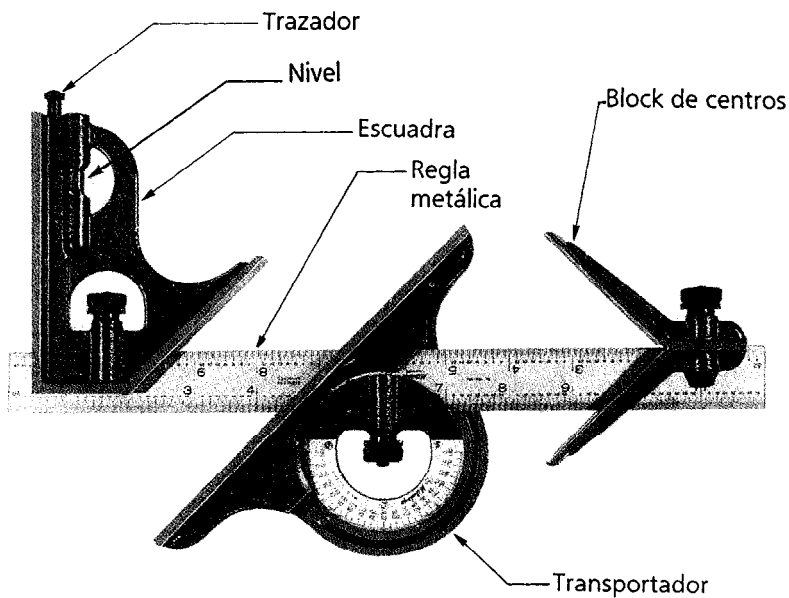


Figura 14.3.

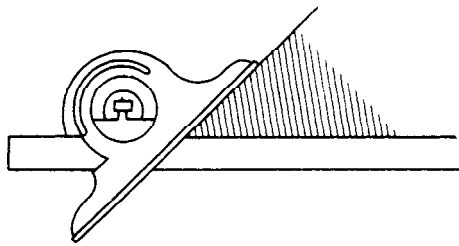


Figura 14.4.

de 0 a 90°, y un disco que gira concéntricamente sobre el círculo. Sobre el disco existe una escala, denominada goniométrica (similar a la escala vernier del calibrador), con graduaciones de 60 a 0 y de 0 a 60 (Fig. 14.9). Cada división en esta figura corresponde a 5 minutos.

Para tomar la lectura, el cero de la escala goniométrica indica la lectura principal en grados, después se determina si el cero de la escala goniométrica quedó a la derecha o a la izquierda del cero del círculo graduado y entonces se busca una graduación de la escala que coincida con una del círculo del mismo lado hacia el que quedó el cero de la escala. Las figuras 14.10 y 14.11 muestran ejemplos de lectura.

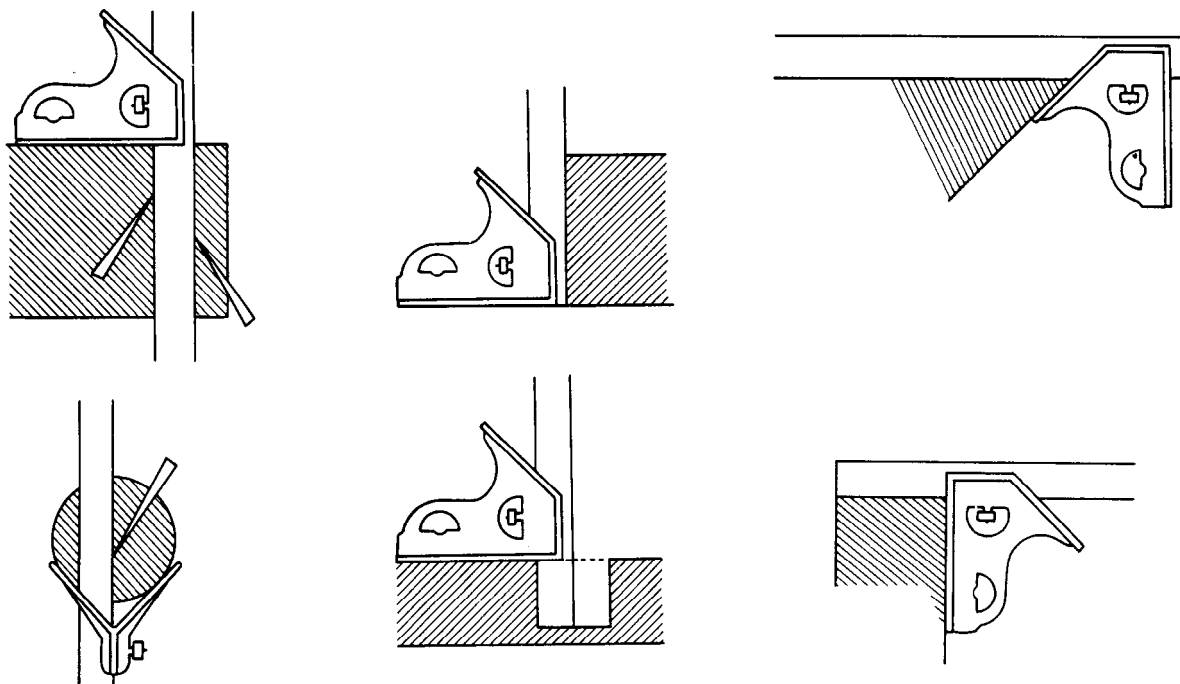


Figura 14.5.



Figura 14.6.

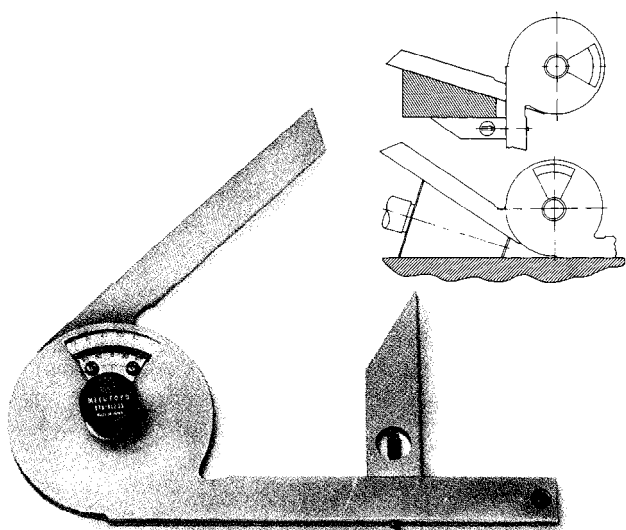


Figura 14.7.

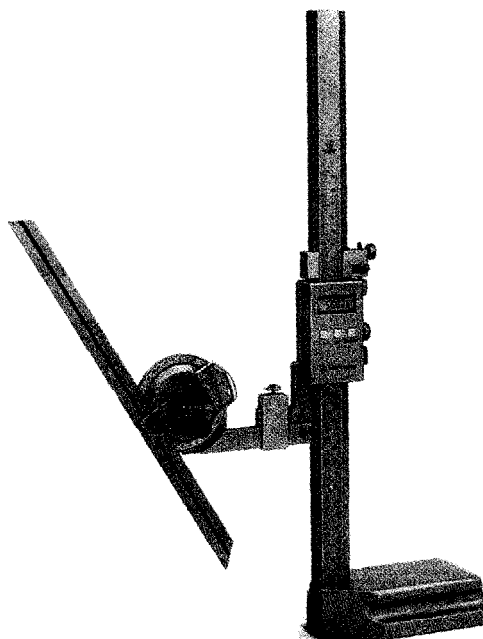


Figura 14.8.

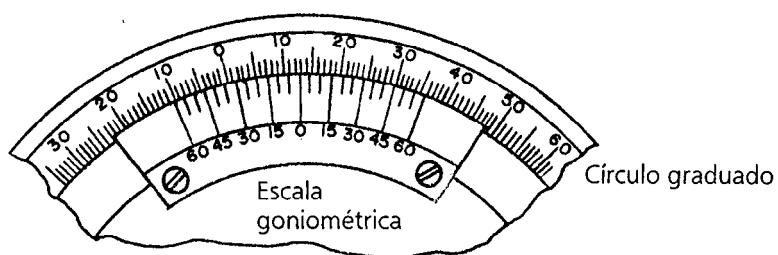


Figura 14.9.

Es importante tener presente que el transportador o el goniómetro mide los ángulos entre sus propias partes, por lo que la exactitud de la medición dependerá de qué tan adecuado sea el contacto de las superficies del ángulo con las partes del transportador o goniómetro.



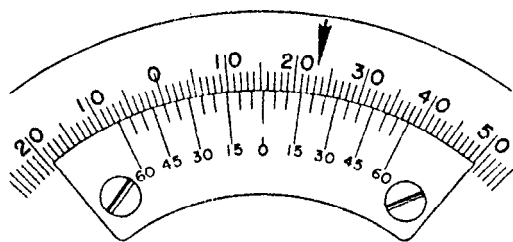
Lectura  $15^{\circ} 20'$ 

Figura 14.10.

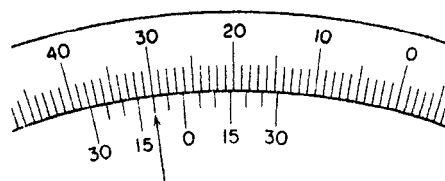
Lectura  $26^{\circ} 10'$ 

Figura 14.11.

La escala goniométrica puede encontrarse en equipo de maquinado, por ejemplo: cabezales de fresadoras, cabezales divisores, bancadas de cepillos, prensas, etcétera. También otros equipos de medición cuentan con este tipo de

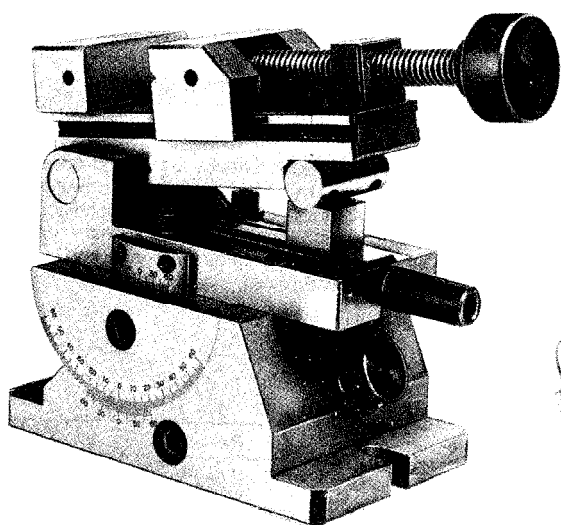


Figura 14.12.

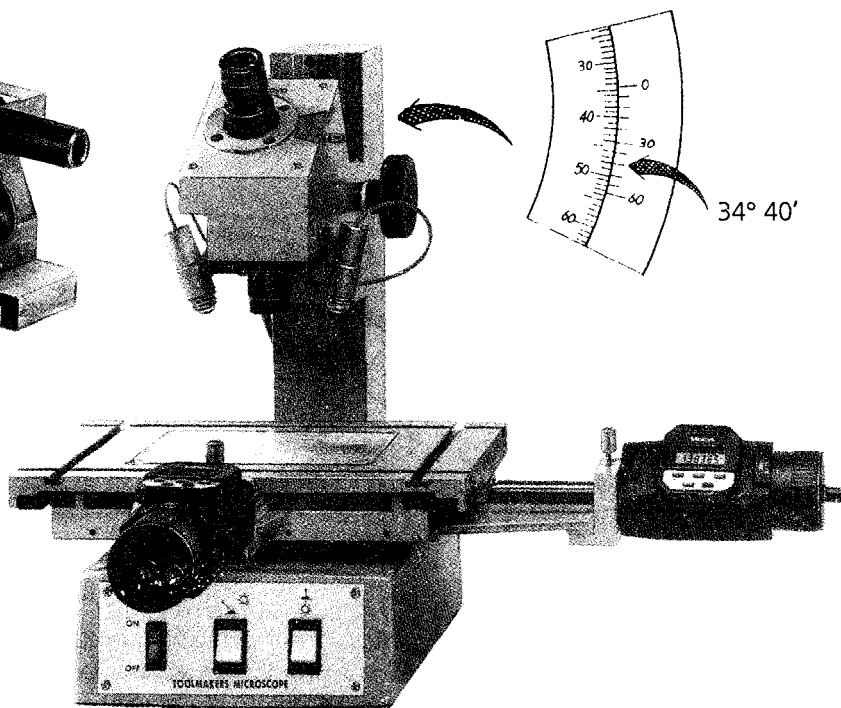


Figura 14.13.

escala, entre otros: comparadores ópticos y microscopios así como las platinas que éstos utilizan (Figs. 14.12 y 14.13).

### PATRONES ANGULARES Y REGLAS DE SENOS

Cuando es necesario posicionar una pieza en un ángulo determinado para inspeccionarla, pueden utilizarse patrones angulares o reglas de senos. Los patrones angulares (Fig. 14.14) tienen cierta similitud con los bloques patrón, ya que pueden adherirse unos con otros para formar, en este caso, el ángulo deseado. Los valores nominales de dos patrones angulares tienen la particularidad de que pueden sumarse o restarse, lo que depende de la posición relativa entre ellos; por tanto, un número relativamente pequeño de patrones angulares permite una gran cantidad de combinaciones, pudiéndose formar ángulos entre 0 y 90° con incrementos de 1 grado 1 minuto o 1 segundo, lo que depende del tipo de patrones angulares que conformen un juego.

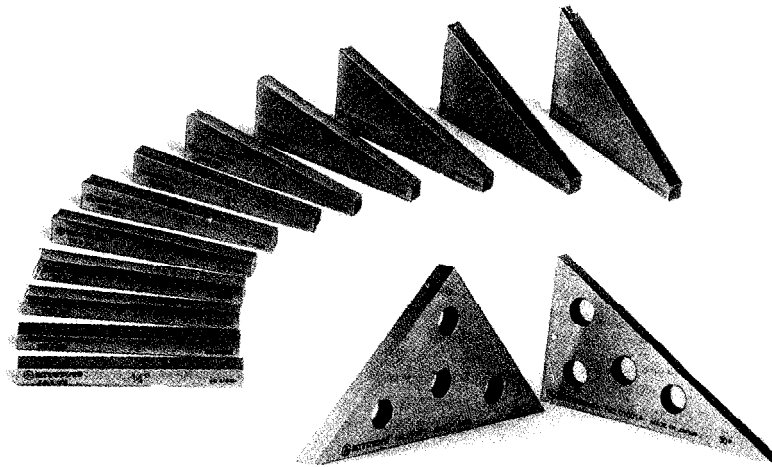


Figura 14.14.

La regla de senos (Fig. 14.15) consiste en un cuerpo con una superficie de apoyo sobre la que se coloca la pieza por inspeccionar y dos rodillos, con una distancia conocida entre centros (generalmente 100 a 200 mm), que deben estar paralelos entre sí y con la superficie de medición.

Para realizar mediciones se requiere colocar uno de los rodillos sobre un conjunto de bloques patrón de la medida conveniente, para lograr el ángulo deseado el otro rodillo y los bloques patrón se colocan sobre una superficie plana de referencia, por ejemplo: una mesa de granito.

El resultado de este arreglo conduce al triángulo rectángulo que muestra la figura 14.16, del cual se deduce que la altura  $h$  necesaria de bloques patrón para

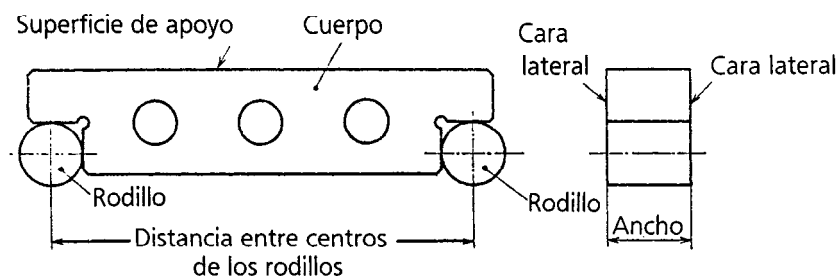


Figura 14.15.

colocar una regla de senos con una distancia entre centros de rodillos  $L$  a un ángulo deseado  $\alpha$  está dada por

$$h = L \sin \alpha \quad (1)$$

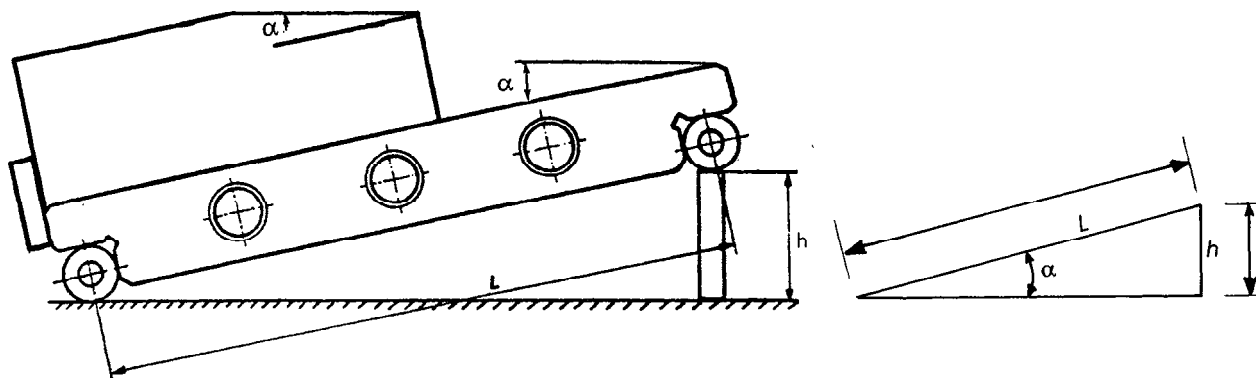


Figura 14.16.

Si el ancho de la regla de senos es mayor se tendrá una mesa de senos como la que se muestra en la figura 14.17 y si la mesa se monta sobre otra se contará con una mesa de senos compuesta (Fig. 14.18). En cualquier caso la superficie tendrá agujeros roscados para la sujeción de piezas o podrá magnetizarse.

En el pasado era común tener una tabla en la que se entraba con el ángulo deseado para obtener la altura necesaria de bloques patrón. Dicha tabla no era más que una tabla de funciones seno multiplicada por la longitud de la regla o mesa de senos (la Tabla 14.1 corresponde a la función seno). En la actualidad resulta más práctico utilizar directamente la expresión (1) y una calculadora de bolsillo que tenga la función trigonométrica seno disponible. Es necesario cuidar que la calculadora esté en la modalidad angular adecuada, por lo general grados (DEG).

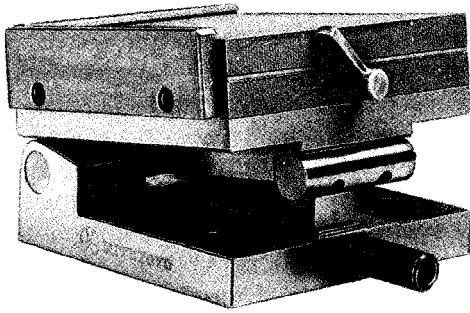


Figura 14.17.

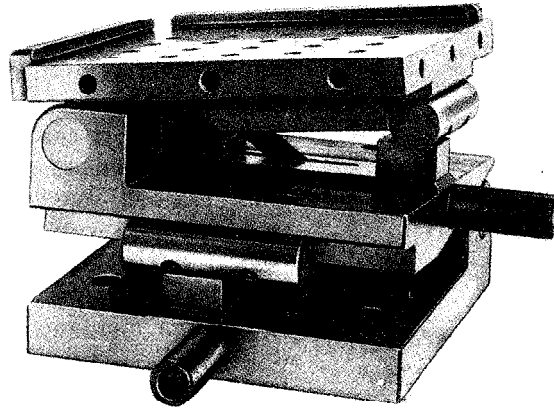


Figura 14.18.

Tabla 14.1.

Grados	Minutos						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'
0	0.0000	0.0029	0.0058	0.0087	0.0116	0.0145	0.0175
1	0.0175	0.0204	0.0233	0.0262	0.0291	0.0320	0.0349
2	0.0349	0.0378	0.0407	0.0436	0.0465	0.0494	0.0523
3	0.0523	0.0552	0.0581	0.0610	0.0640	0.0669	0.0698
4	0.0698	0.0727	0.0756	0.0785	0.0814	0.0843	0.0872
5	0.0872	0.0901	0.0929	0.0958	0.0987	0.1016	0.1045
6	0.1045	0.1074	0.1103	0.1132	0.1161	0.1190	0.1219
7	0.1219	0.1248	0.1276	0.1305	0.1334	0.1363	0.1392
8	0.1392	0.1421	0.1449	0.1478	0.1507	0.1536	0.1564
9	0.1564	0.1593	0.1622	0.1650	0.1679	0.1708	0.1736
10	0.1736	0.1765	0.1794	0.1822	0.1851	0.1880	0.1908
11	0.1908	0.1937	0.1965	0.1994	0.2022	0.2051	0.2079
12	0.2079	0.2108	0.2136	0.2164	0.2193	0.2221	0.2250
13	0.2250	0.2278	0.2306	0.2334	0.2363	0.2391	0.2419
14	0.2419	0.2447	0.2476	0.2504	0.2532	0.2560	0.2588
15	0.2588	0.2616	0.2644	0.2672	0.2700	0.2728	0.2756
16	0.2756	0.2784	0.2812	0.2840	0.2868	0.2896	0.2924
17	0.2924	0.2952	0.2979	0.3007	0.3035	0.3063	0.3091
18	0.3091	0.3118	0.3145	0.3173	0.3201	0.3228	0.3256
19	0.3256	0.3283	0.3311	0.3338	0.3365	0.3393	0.3420
20	0.3420	0.3448	0.3475	0.3502	0.3529	0.3557	0.3584
21	0.3584	0.3611	0.3638	0.3665	0.3692	0.3719	0.3746
22	0.3746	0.3773	0.3800	0.3827	0.3854	0.3881	0.3907
23	0.3907	0.3934	0.3961	0.3987	0.4014	0.4041	0.4067
24	0.4067	0.4094	0.4120	0.4147	0.4173	0.4200	0.4226
25	0.4226	0.4253	0.4279	0.4305	0.4331	0.4358	0.4384
26	0.4384	0.4410	0.4436	0.4462	0.4488	0.4514	0.4540
27	0.4540	0.4566	0.4592	0.4617	0.4643	0.4669	0.4693
28	0.4693	0.4720	0.4746	0.4772	0.4797	0.4823	0.4848
29	0.4848	0.4874	0.4899	0.4924	0.4950	0.4975	0.5000
30	0.5000	0.5024	0.5050	0.5075	0.5100	0.5125	0.5150
31	0.5150	0.5175	0.5200	0.5225	0.5250	0.5275	0.5299
32	0.5299	0.5324	0.5348	0.5373	0.5398	0.5422	0.5446
33	0.5446	0.5471	0.5495	0.5519	0.5544	0.5568	0.5592
34	0.5592	0.5616	0.5640	0.5664	0.5688	0.5712	0.5736
35	0.5736	0.5760	0.5783	0.5807	0.5831	0.5854	0.5878
36	0.5878	0.5901	0.5925	0.5948	0.5972	0.5995	0.6018
37	0.6018	0.6041	0.6065	0.6088	0.6111	0.6134	0.6157
38	0.6157	0.6180	0.6202	0.6225	0.6248	0.6271	0.6293
39	0.6293	0.6310	0.6338	0.6361	0.6383	0.6406	0.6428
40	0.6428	0.6450	0.6472	0.6494	0.6517	0.6539	0.6561
41	0.6561	0.6583	0.6604	0.6626	0.6648	0.6670	0.6691
42	0.6691	0.6713	0.6734	0.6756	0.6777	0.6799	0.6820
43	0.6820	0.6841	0.6862	0.6884	0.6905	0.6926	0.6947
44	0.6947	0.6967	0.6988	0.7009	0.7030	0.7050	0.7071

Los patrones angulares y la regla de senos no son recomendables para usarse con ángulos significativamente superiores a  $45^\circ$ , si existiera tal necesidad es recomendable utilizar una escuadra de sujeción sobre la que se coloca la regla de senos y sujetar en ésta la pieza por inspeccionar. Las reglas y mesas de senos por lo general tienen una placa que evita el deslizamiento de la pieza colocada sobre ellas. También puede tenerse mesas de seno capaces de magnetizarse para mantener las piezas en posición. Además, pueden colocarse accesorios para colocar piezas entre centros, como lo ilustra la figura 14.19, y tanto los patrones como las reglas y mesas de senos generalmente requerirán utilizar un indicador de carátula, montado en un soporte adecuado, para poder realizar mediciones (Fig. 14.19). Éstas por lo común consistirán en determinar qué tan paralela está la superficie inspeccionada con respecto a la superficie plana de referencia sobre la que se está trabajando.

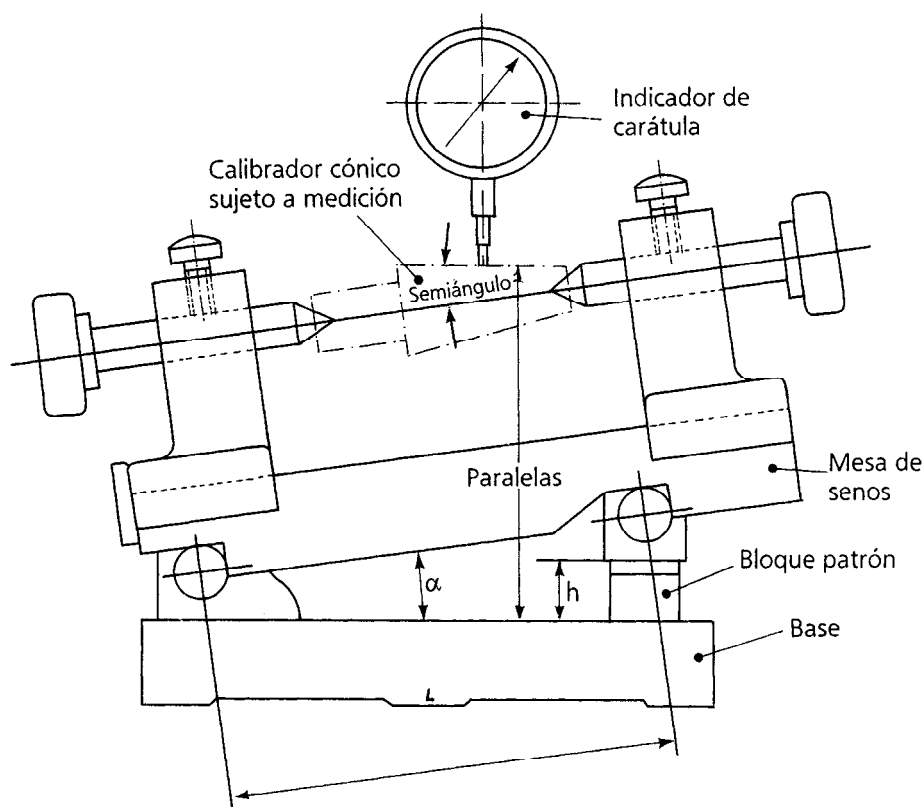


Figura 14.19.

Para la inspección de piezas con dimensiones angulares con tolerancias expresadas con signos más o menos (por ejemplo  $25^\circ \pm 30'$ ). La desviación angular

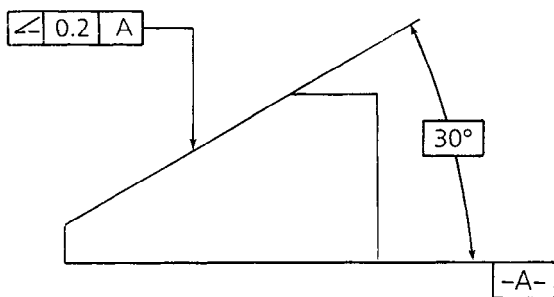
de una pieza respecto del ángulo fijado con patrones angulares o mesa de senos será determinada mediante la siguiente ecuación:

$$\beta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{d}{l} \quad (2)$$

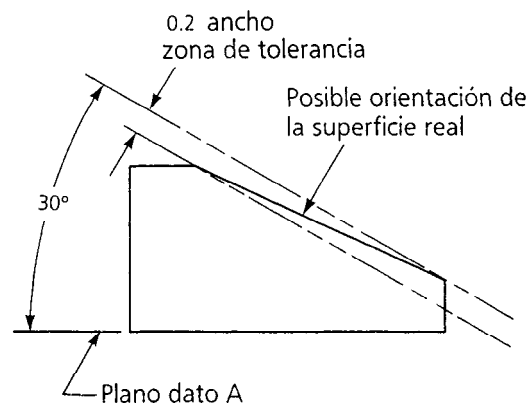
Siendo  $\beta$  la desviación angular,  $l$  la longitud de la sección inspeccionada y  $d$  la diferencia de lecturas entre un extremo y otro de la sección inspeccionada.

Es necesario tener precaución al aplicar las ecuaciones 1 y 2, ya que la interpretación de los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  depende de la forma en que la pieza está colocada en la regla o mesa de senos; por ejemplo, en la figura 14.19 el ángulo  $\alpha$  corresponde al semiángulo de la parte cónica por inspeccionar, pero correspondería al ángulo si la parte cónica se posicionara directamente sobre la superficie de apoyo de la mesa de senos.

Para piezas que están dimensionadas como en la figura 14.20, el ángulo está dado como dimensión básica. Ésta se define como una dimensión teóricamente exacta, y en este caso particular podría establecerse colocando, al ángulo básico especificado, la característica *dato* A sobre la superficie de apoyo de una regla de senos y desplazando el indicador de carátula sobre la característica controlada (Fig. 14.22). La diferencia entre las lecturas mayor y menor no deberá rebasar la tolerancia de angularidad especificada de 0.2 mm, indicada en el marco de control de característica, dado que la interpretación del dibujo de la figura 14.20 es como está indicado en la figura 14.21. El método de inspección lo ilustra la figura 14.22.



**Figura 14.20.** La superficie debe encontrarse entre dos planos paralelos separados 0.2 inclinados a 30° con respecto al plano dato A. Adicionalmente la superficie debe encontrarse dentro de los límites de tamaño especificados.



**Figura 14.21.** La superficie debe encontrarse entre dos planos paralelos, separados 0.2, inclinados a 30° con respecto al plano dato A. Adicionalmente la superficie debe encontrarse dentro de los límites de tamaño especificados.

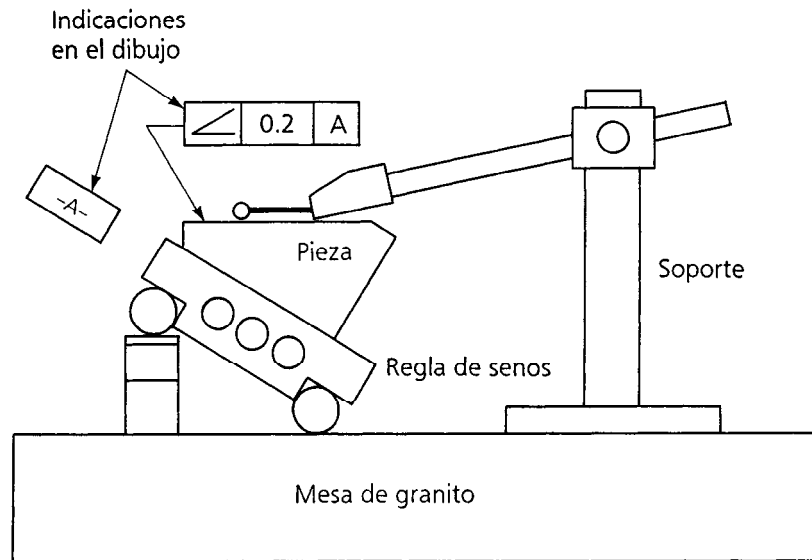


Figura 14.22.

### ESCUADRAS

Cuando el ángulo que desea verificarse es de  $90^\circ$ , es útil emplear escuadras (hechas en una variedad de construcciones y tamaños [Fig. 14.23]) de acero endurecido que constan de dos piezas permanentemente fijas y rectificadas con exactitud a  $90^\circ$ , tanto en el interior como el exterior. Una pequeña muesca en el

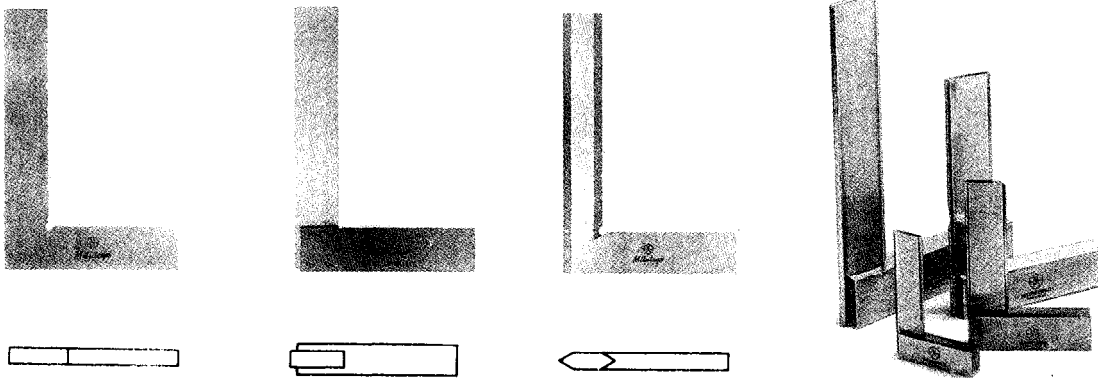


Figura 14.23.

interior de la escuadra, justo en la unión de las dos piezas que la componen, permite que al verificar bordes una rebaba o deformidad de la parte no interfiera con la medición.

Aunque el término perpendicular implica verificar si los elementos inspeccionados están o no a  $90^\circ$ , es más conveniente medir la cantidad lineal fuera de perpendicularidad; por ejemplo, el número de centésimas de milímetro en una distancia específica.

La figura 14.24 muestra una indicación típica de perpendicularidad en el dibujo de una pieza; el significado se muestra en la figura 14.25. La pieza puede inspeccionarse colocando la superficie de la pieza —identificada como característica dato A—, y un lado de la escuadra sobre una superficie plana de referencia e introduciendo una lana entre la pieza y el otro lado de la escuadra; el máximo espesor de lana que pueda introducirse dirá cuánto está fuera de perpendicularidad el elemento inspeccionado. Para que éste sea aceptable, según la figura 14.24, no deberá ser mayor de 0.1. Moviendo hacia adelante o hacia atrás la escuadra podrán checarse otros elementos. Este método de inspección estará limitado por el mínimo espesor de lana disponible (0.03 mm normalmente).

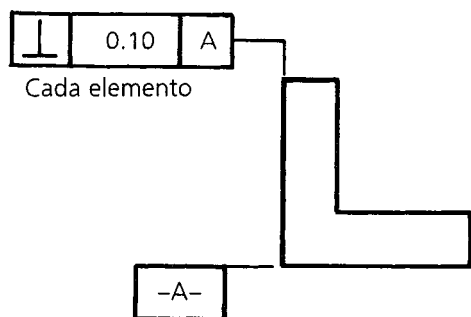


Figura 14.24.

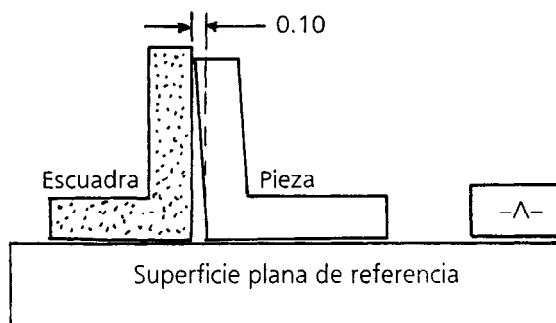


Figura 14.25.

Una alternativa sería utilizar una escuadra como la que muestra la figura 14.26, la cual tiene acoplados un indicador de carátula que proporciona las lecturas y una cabeza micrométrica que modifica la orientación de la escuadra.

Otra forma de inspección consiste en colocar un indicador de carátula o comparador electrónico en un equipo capaz de moverlo perpendicularmente a la superficie plana de referencia, tal como se muestra en la figura 14.27 (tolerancia de perpendicularidad  $3\text{ }\mu\text{m}$  en 150 mm).

También puede hacerse medición comparativa contra un patrón de perpendicularidad conocida (Fig. 14.28) (tolerancia de perpendicularidad de  $3\text{ }\mu\text{m}$  en 250 mm), el cual puede utilizarse incluso para calibrar escuadras.

Si el dibujo no tiene ninguna nota bajo el marco de control de característica, como en la figura 14.29, la interpretación correspondiente se muestra en la figura



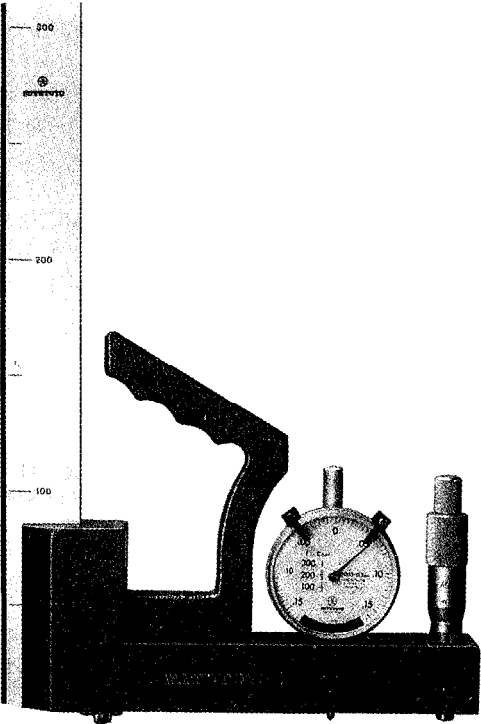


Figura 14.26.

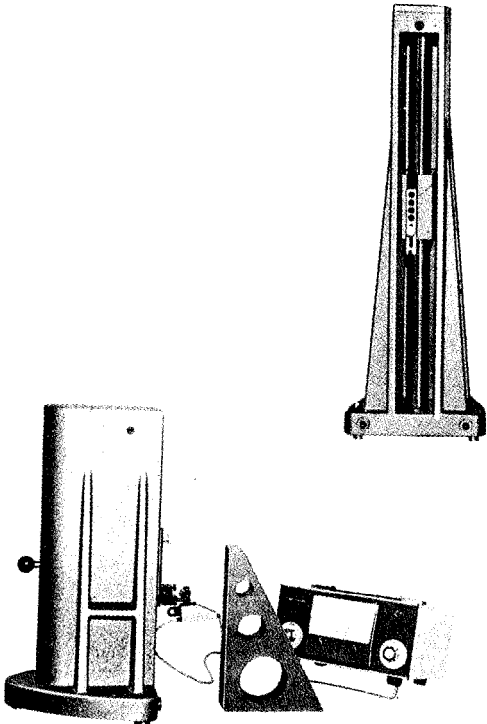


Figura 14.27.

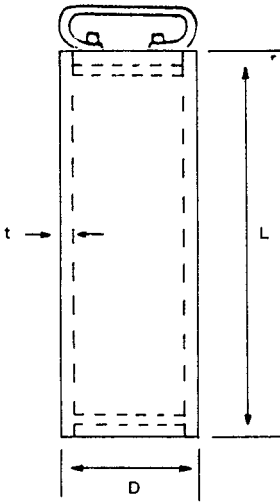
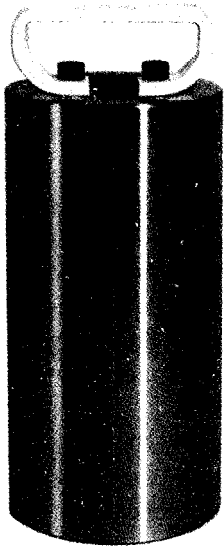


Figura 14.28.

14.30. Entonces todos los puntos de la característica controlada deberán encontrarse dentro de dos planos paralelos separados 0.10 mm perpendiculares al plano dato. En este caso puede uno auxiliarse de una escuadra de sujeción colocada sobre una superficie plana de referencia, colocar la característica dato sobre la superficie vertical de la escuadra, después de nivelar (giro alrededor del eje X) y, finalmente, recorrer la superficie (característica controlada) con un indicador de carátula montado sobre un soporte adecuado. La lectura total del indicador deberá ser menor que la tolerancia especificada para que la pieza se considere aceptable (Fig. 14.31).

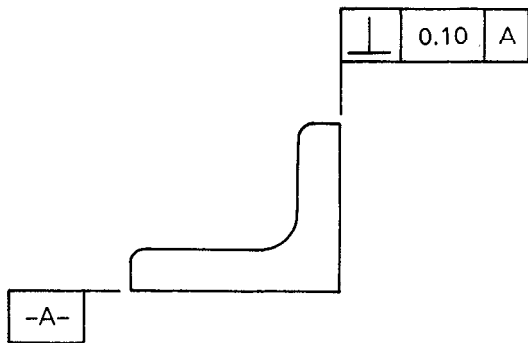


Figura 14.29.

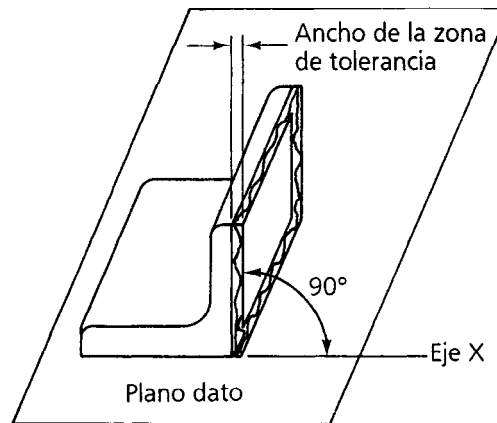


Figura 14.30.

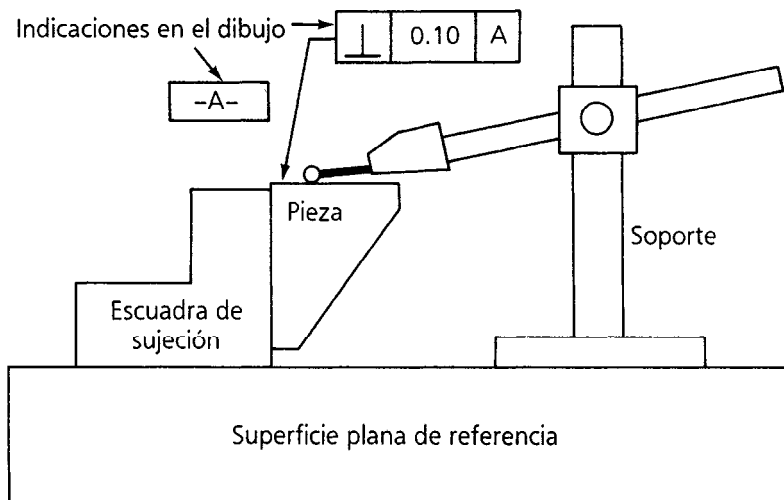


Figura 14.31.

## NIVELES

Los niveles de burbuja son los instrumentos más comúnmente utilizados para inspeccionar la posición horizontal de superficies y evaluar la dirección y magnitud de desviaciones menores de esa condición nominal (Figs. 14.32 y 14.33).

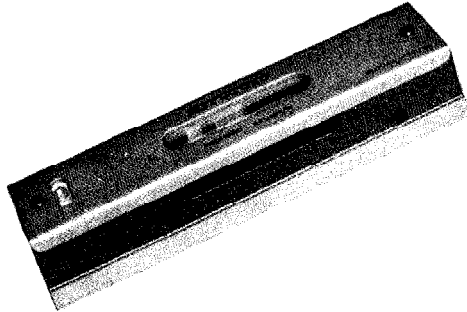


Figura 14.32.

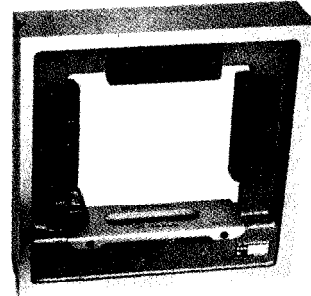


Figura 14.33.

La sensibilidad depende de la curvatura del tubo de vidrio. Los niveles económicos (Fig. 14.34) tienen un tubo flexionado. Los de mejor sensibilidad tienen tubos rectos cuyo interior ha sido esmerilado al radio deseado.



Figura 14.34.

De acuerdo con la norma JIS B 7511 (1972), la sensibilidad de un nivel significa la inclinación necesaria para desplazar la burbuja dentro del tubo una marca de la escala. Esta inclinación puede expresarse mediante altura relativa a un metro del lado de la base o mediante ángulo en segundos.

La relación entre el ángulo y la altura relativa al lado de la base será como sigue:

Ángulo de 1 segundo =  $4.85 \mu\text{m}$  por 1 m  $\approx 5 \mu\text{m}$  por 1 m

Las clases de niveles serán 1, 2 y 3 de acuerdo con la sensibilidad de la burbuja, mientras que los grados A y B los determinan la estructura y característica del tubo (véase Tabla 14.2).

**Tabla 14.2.**

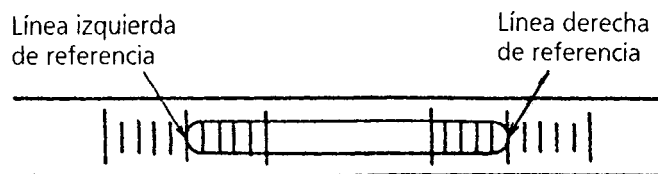
JIS		
Clase	Sensibilidad	Grado
Clase 1	$\frac{0.02 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$ (= 4 s)	Grado A Grado B
Clase 2	$\frac{0.05 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$ (= 10 s)	
Clase 3	$\frac{0.1 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$ (= 20 s)	

Los niveles en el sistema inglés tienen una sensibilidad de 2, 5, 10, 20, 30, 60 y 3600 segundos, es decir, corresponden a una elevación de .0001, .00025, .001, .0015, .003 y .180 pulgadas por pie por división.

Los niveles deben estar marcados con los siguientes datos sobre el cuerpo:

- a) sensibilidad
- b) grado
- c) nombre o marca del fabricante

La escala sobre el tubo principal debe, preferentemente, estar graduada en intervalos iguales de aproximadamente 2 mm, como lo muestra la figura 14.35.



**Figura 14.35.**

Aunque los niveles vienen ajustados después de un tiempo de uso tal vez se requiera ajustarlos, por lo que debe buscarse que al girar el nivel  $180^\circ$  la posición de la burbuja no cambie.

A continuación se describe el procedimiento de ajuste para el nivel que muestra la figura 14.32:

1. Limpiar la base del nivel y la superficie sobre la que éste se va a colocar.
2. Colocar el nivel sobre la superficie y tomar una primera lectura (Fig. 14.36).

3. Girar el nivel 180° y tomar una segunda lectura (Fig. 14.37).
4. Con una llave allen hexagonal girar el nivelador según sea necesario (Fig. 14.38).

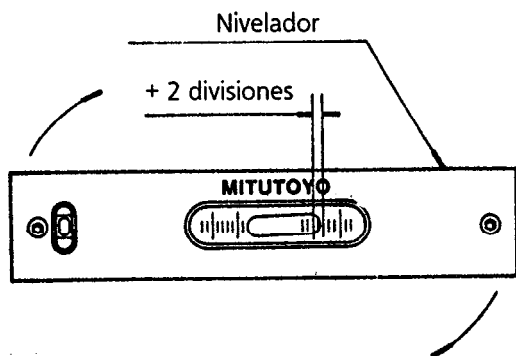


Figura 14.36.

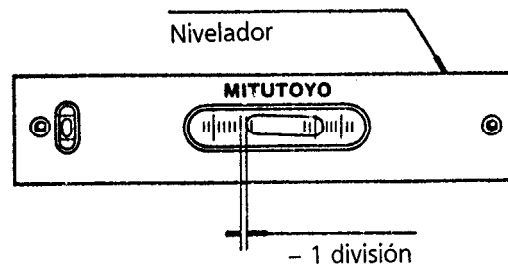


Figura 14.37.

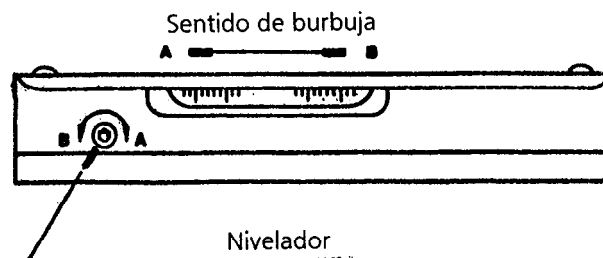


Figura 14.38.

### Movimiento de la burbuja

El movimiento de la burbuja se determina de la siguiente forma, utilizando las lecturas mostradas en las figuras 14.36 y 14.37.

La figura 14.36 muestra que el nivel está fuera + 2 divisiones, mientras que la figura 14.37 está fuera -1 división.

La diferencia entre las dos lecturas es de 3 divisiones.

Para ajuste de error debe procederse de la siguiente forma:

$$\frac{1a. \text{ lectura} - 2a. \text{ lectura}}{2} = \frac{+ 2 - (-1)}{2} = \frac{+ 3}{2} = + 1.5$$

Aumentar el ajuste de error para la 2a. lectura.

$$(-1) + (+1.5) = + 0.5$$

Utilizar una llave allen hexagonal y girar, siguiendo el esquema de la figura 14.38, el nivelador hacia el sentido "B" 1.5 divisiones.

Repetir la verificación por lo menos dos veces para obtener una mayor centralización de la burbuja.

En las lecturas con el nivel, las dos líneas mayores del centro representarán el cero cuando la burbuja queda centrada con respecto a ellas, lo que significa que está nivelada la superficie sobre la que está el nivel. Si la burbuja se desvía hacia un lado significa que la superficie está desnivelada. Convencionalmente, se considera lectura negativa si la burbuja se desvía hacia la izquierda del operador y lectura positiva si se desvía hacia la derecha (Tablas 14.3 y 14.4).

**Tabla 14.3.** Ejemplos de lectura con nivel

Sensitividad del nivel	Desviación de una división a la izquierda	Desviación de dos divisiones a la izquierda	Desviación de tres divisiones a la izquierda
$\frac{0.02 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 4 \text{ s}$	- 4 s - 0.02 mm/m	- 8 s - 0.04 mm/m	- 12 s - 0.08 mm/m
$\frac{0.05 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 10 \text{ s}$	- 10 s - 0.05 mm/m	- 20 s - 0.1 mm/m	- 30 s - 0.2 mm/m
$\frac{0.1 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 20 \text{ s}$	- 20 s - 0.1 mm/m	- 40 s - 0.2 mm/m	- 60 s - 0.4 mm/m

**Tabla 14.4.** Ejemplos de lectura con nivel

Sensitividad del nivel	Desviación de una división a la derecha	Desviación de dos divisiones a la derecha	Desviación de tres divisiones a la derecha
$\frac{0.02 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 4 \text{ s}$	4 s 0.02 mm/m	8 s 0.04 mm/m	12 s 0.08 mm/m
$\frac{0.05 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 10 \text{ s}$	10 s 0.05 mm/m	20 s 0.1 mm/m	30 s 0.2 mm/m
$\frac{0.1 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 20 \text{ s}$	20 s 0.1 mm/m	40 s 0.2 mm/m	60 s 0.4 mm/m



# Sistemas de ajustes y tolerancias

## INTRODUCCIÓN

El acabado de piezas que ensamblan en un principio se lograba mediante prueba y error hasta lograr un ajuste adecuado. En la actualidad, las crecientes necesidades de intercambiabilidad y producción de grandes volúmenes imponen un análisis cuidadoso para lograr, desde el diseño, la eliminación de problemas de ensamble.

Todas las piezas de un tamaño determinado deberían ser exactamente iguales en sus dimensiones, sin embargo, diversos factores —calentamiento de la maquinaria, desgaste de las herramientas, falta de homogeneidad de los materiales, vibraciones, etcétera— dificultan alcanzar este ideal, por lo que deben permitirse variaciones de la dimensión especificada que no perturben los requerimientos funcionales que se pretende satisfacer.

## DEFINICIÓN DE TOLERANCIA Y AJUSTE

La cantidad total que le es permitido variar a una dimensión especificada se denomina tolerancia, y es la diferencia entre los límites superior e inferior especificados.

Al ensamblar piezas ocurre un ajuste, el cual es la cantidad de juego o interferencia resultante de tal ensamble.

Los ajustes pueden clasificarse como:

- Con juego
- Indeterminado o de transición
- Con interferencia, forzado o de contracción.

El ajuste se selecciona con base en los requerimientos funcionales; por ejemplo, si se desea que una pieza se desplace dentro de la otra se utilizará un ajuste con juego, pero si se desea que las dos piezas queden firmemente sujetas se utilizará un ajuste forzado. El ajuste deseado se logrará aplicando tolerancias adecuadas a cada una de las partes ensamblantes.

Según la dirección en la cual la variación es permitida, y en relación con la dimensión especificada, las tolerancias se clasifican en unilaterales y bilaterales.

Ejemplos de tolerancias unilaterales:

$$20 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$$

$$50 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.04 \end{smallmatrix}$$

$$10 \begin{smallmatrix} +30' \\ 0 \end{smallmatrix}$$



## Ejemplos de tolerancias bilaterales

$$25 \pm 0.02$$

$$37.5 \begin{matrix} +0.02 \\ -0.01 \end{matrix}$$

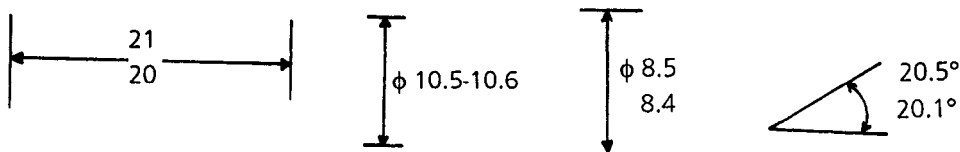
$$25^\circ 30' \pm 20'$$

## FORMAS DE EXPRESIÓN DE TOLERANCIAS

Los ejemplos anteriores utilizan las tolerancias expresadas con signos más y menos y precedidas por la dimensión especificada.

Otra forma de expresar los límites dentro de los cuales pueden variar las dimensiones de una característica es el dimensionamiento límite, en el cual el límite superior especificado se coloca arriba del límite inferior especificado. Cuando se expresa en un solo renglón, el límite inferior precede al superior y un guión separa los dos valores.

Ejemplos de dimensionamiento límite:



Una forma más de expresar las tolerancias es mediante el sistema ISO, en el cual la dimensión especificada precede a la tolerancia expresada mediante una letra y un número.

Ejemplos de tolerancias ISO

50 H7    37 g6    12.5 h6    125 H11

## El sistema ISO

En el sistema ISO se utilizan letras mayúsculas para características internas y minúsculas para características externas, que indican la posición de la zona de tolerancia con respecto a la línea cero, la cual es función de la dimensión especificada (Fig. 15.1).

Los números que siguen a las letras se conocen como grados de tolerancia y son grupos de tolerancias correspondientes al mismo nivel de exactitud. Para todas las dimensiones especificadas existen 18 grados diferentes que son el 01 y del 0 al 16; el de mayor exactitud es el 01 y el de menor el 16.

La tolerancia también depende de la dimensión, entre mayor sea la dimensión mayor será la tolerancia. Asimismo, la desviación mostrada en la figura 15.1 depende de la dimensión (línea cero).

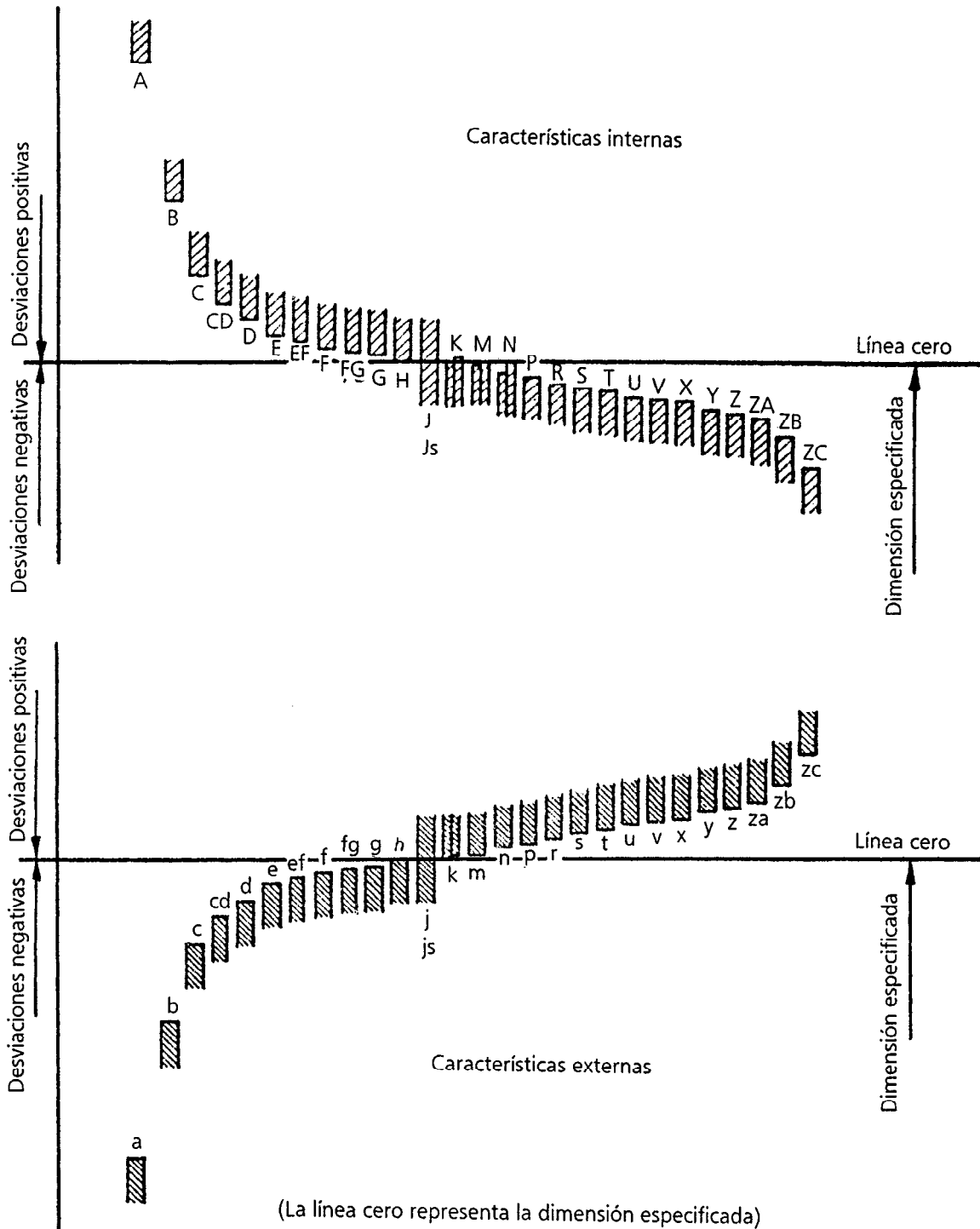


Figura 15.1. Posiciones respectivas de las diversas zonas de tolerancia para una dimensión dada.

Los valores de algunas de las tolerancias más comunes se dan en la tabla 15.1, en cuyo primer renglón se muestran diferentes dimensiones, mientras que en la primera columna se indican diferentes tolerancias.

**Ejemplo 1:**

En la tabla 15.1 puede verse que 60 H7 corresponde a una tolerancia de  $+^{30}_0 \mu\text{m}$  (octava columna tercer renglón), por lo que expresada en más y menos quedará como  $60^{+0.030}_0$  y en dimensionamiento límite como 60.000-60.030.

**Tabla 15.1.**

Valores en micrómetros ( $1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm}$ )

Temperatura de referencia 20°C

Dimen- siones en mm		≤ 3	>3 a 6	> 6 a 10	> 10 a 18	> 18 a 30	> 30 a 50	> 50 a 80	> 80 a 120	> 120 a 180	> 180 a 250	> 250 a 315	> 315 a 400
Características internas	H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0
	H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0
	H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0
	H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0
	H 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 220 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0
Características externas	g 5	- 2 - 6	- 4 - 9	- 5 - 11	- 6 - 14	- 7 - 16	- 9 - 20	- 10 - 23	- 12 - 27	- 14 - 32	- 15 - 35	- 17 - 40	- 18 - 43
	h 5	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 15	0 - 18	0 - 20	0 - 23	0 - 25
	js 5	+ 2 - 2	+ 2.5 - 2.5	+ 3 - 3	+ 4 - 4	+ 4.5 - 4.5	+ 5.5 - 5.5	+ 6.5 - 6.5	+ 7.5 - 7.5	+ 9 - 9	+ 10 - 10	+ 11.5 - 11.5	+ 12.5 - 12.5
	k 5	+ 4 0	+ 6 + 1	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4	+ 29 + 4
	f 6	- 6 - 12	- 10 - 18	- 13 - 22	- 16 - 27	- 20 - 33	- 25 - 41	- 30 - 49	- 36 - 58	- 43 - 68	- 50 - 79	- 56 - 88	- 62 - 98
	g 6	- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25	- 10 - 29	- 12 - 34	- 14 - 39	- 15 - 44	- 17 - 49	- 18 - 54
	h 6	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16	0 - 19	0 - 22	0 - 25	0 - 29	0 - 32	0 - 36
	js 6	+ 3 - 3	+ 4 - 4	+ 4.5 - 4.5	+ 5.5 - 5.5	+ 6.5 - 6.5	+ 8 - 8	+ 9.5 - 9.5	+ 11 - 11	+ 12.5 - 12.5	+ 14.5 - 14.5	+ 16 - 16	+ 18 - 18
	m6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20	+ 57 + 21

Tabla 15.7 (Continuación)

Características externas	p 6	+ 12 + 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56	+ 98 + 62
	e 7	- 14 - 24	- 20 - 32	- 25 - 40	- 32 - 50	- 40 - 61	- 50 - 75	- 60 - 90	- 72 - 107	- 85 - 125	- 100 - 146	- 110 - 162	- 125 - 182
	f 7	- 6 - 16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 96	- 56 - 108	- 62 - 119
	h 7	0 - 10	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57
	e 8	- 14 - 28	- 20 - 38	- 25 - 47	- 32 - 59	- 40 - 73	- 50 - 89	- 60 - 106	- 72 - 126	- 85 - 148	- 100 - 172	- 110 - 191	- 125 - 214
	f 8	- 6 - 20	- 10 - 28	- 13 - 35	- 16 - 43	- 20 - 53	- 25 - 64	- 30 - 76	- 36 - 90	- 43 - 106	- 50 - 122	- 56 - 137	- 62 - 151
	h 8	0 - 14	0 - 18	0 - 22	0 - 27	0 - 33	0 - 39	0 - 46	0 - 54	0 - 63	0 - 72	0 - 81	0 - 89
	d 9	- 20 - 45	- 30 - 60	- 40 - 76	- 50 - 93	- 65 - 117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 245	- 170 - 285	- 190 - 320	- 210 - 350
	e 9	- 14 - 39	- 20 - 50	- 25 - 61	- 32 - 75	- 40 - 92	- 50 - 112	- 60 - 134	- 72 - 159	- 85 - 185	- 100 - 215	- 110 - 240	- 125 - 265
	d 11	- 20 - 80	- 30 - 105	- 40 - 130	- 50 - 160	- 65 - 195	- 80 - 240	- 100 - 290	- 120 - 340	- 145 - 395	- 170 - 460	- 190 - 510	- 210 - 570
	h 11	0 - 60	0 - 75	0 - 90	0 - 110	0 - 130	0 - 160	0 - 190	0 - 220	0 - 250	0 - 290	0 - 320	0 - 360
	i <sub>s</sub> 11	+ 30 - 30	+ 37 - 37	+ 45 - 45	+ 55 - 55	+ 65 - 65	+ 80 - 80	+ 95 - 95	+ 110 - 110	+ 125 - 125	+ 145 - 145	+ 160 - 160	+ 180 - 180

Ejemplo 2: Para 60 g6 corresponde una tolerancia de  $\pm \frac{29}{10} \mu\text{m}$  (octava columna doceavo renglón), por lo que expresada en más y menos quedará como  $60 \begin{smallmatrix} -0.029 \\ -0.010 \end{smallmatrix}$  y en dimensionamiento límite 59.971 - 59.990.

Obsérvese, en este último ejemplo, que la dimensión especificada es 60, sin embargo, no es una medida admisible; ésta es una situación común en el sistema ISO.

## CONDICIONES DE MATERIAL

Existen dos condiciones de material, las cuales se definen a continuación.

La condición de material máximo (MMC) es la condición en la cual una característica de tamaño contiene la máxima cantidad de material dentro de los límites establecidos de tamaño, por ejemplo: el diámetro mínimo de un agujero o el diámetro máximo de un perno.

La condición de material mínimo (LMC) es la condición en la cual una característica de tamaño contiene la mínima cantidad de material dentro de los límites establecidos de tamaño; por ejemplo, el diámetro máximo de un agujero o el diámetro mínimo de un perno.

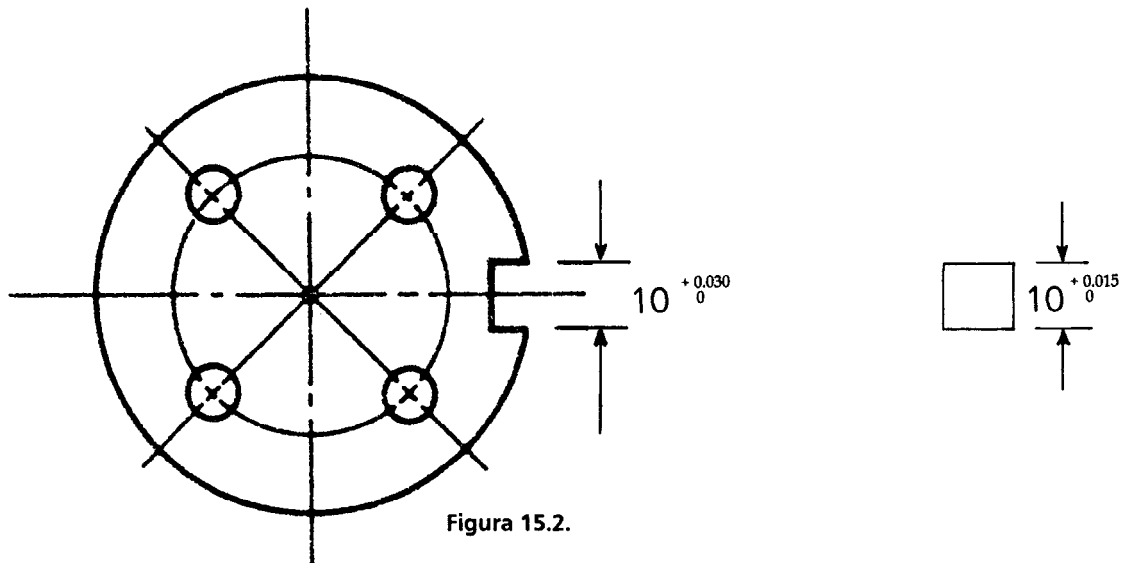


Figura 15.2.

Considérese, por ejemplo, la cuña y el cuñero mostrados en la figura 15.2.

La condición de material máximo del cuñero es 10.000 y la de la cuña es 10.015, mientras que la condición de material mínimo es 10.030 para el cuñero y 10.000 para la cuña. Obsérvese que para características externas, las condiciones de material máximo y mínimo coinciden, respectivamente, con los límites superior e inferior especificados, mientras que para características internas las condiciones material máximo y mínimo coinciden, respectivamente, con los límites inferior y superior especificados.

### DETERMINACIÓN DEL TIPO DE AJUSTE

Para piezas que van a ensamblarse tal vez sea necesario analizar el juego o interferencia que se producirá al ensamblarlas; indudablemente habrá un juego o interferencia máxima o un juego o interferencia mínima, lo que dependerá de las dimensiones reales de las piezas por ensamblar y de las tolerancias asignadas a cada parte.

Así, para determinar el juego mínimo basta pensar que éste ocurrirá cuando las dos partes por ensamblar estén en su condición de material máximo y será la diferencia entre las dos.

Por otra parte, para determinar el juego máximo basta pensar que éste ocurrirá cuando las dos partes por ensamblar estén en su condición de material



mínimo y será la diferencia entre las dos. Lo anterior puede expresarse de la siguiente manera:

$$- \frac{\text{MMC CARACTERÍSTICA INTERNA}}{\text{MMC CARACTERÍSTICA EXTERNA}} \quad \text{JUEGO MÍNIMO}$$

$$- \frac{\text{LMC CARACTERÍSTICA INTERNA}}{\text{LMC CARACTERÍSTICA EXTERNA}} \quad \text{JUEGO MÁXIMO}$$

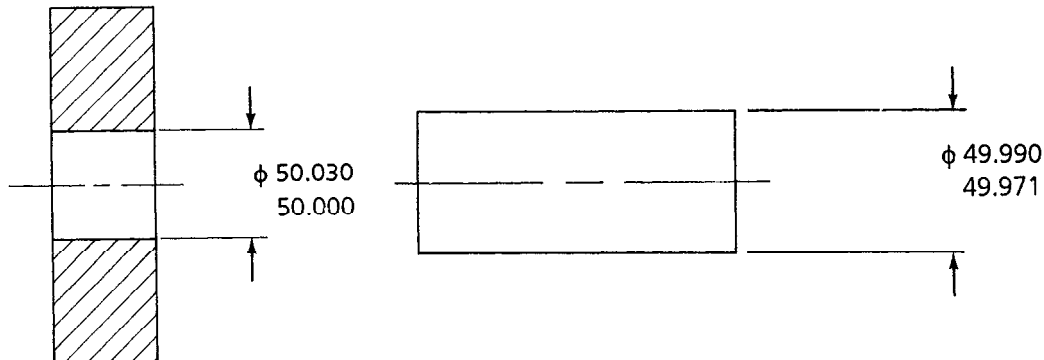


Figura 15.3.

Considérese como ejemplo numérico el que ilustra la figura 15.3.

Utilizando las expresiones dadas obtendremos:

$$\begin{array}{r} 50.000 \\ - 49.990 \\ \hline 0.010 \end{array} \quad \text{juego mínimo}$$

$$\begin{array}{r} 50.030 \\ - 49.971 \\ \hline 0.059 \end{array} \quad \text{juego máximo}$$

Si utilizamos nuevamente las expresiones dadas, ahora con los datos de la figura 15.2, obtendremos.

$$\begin{array}{r} 9.970 \\ - 10.015 \\ \hline -0.045 \end{array} \quad \text{juego mínimo}$$

$$\begin{array}{r} 10.000 \\ - 10.000 \\ \hline 0.000 \end{array} \quad \text{juego máximo}$$

El signo menos indica que no será juego mínimo sino interferencia máxima y por tanto en este caso tendremos ajuste con interferencia (a la condición particular que produce juego cero se le denomina, a veces, ajuste exacto).

Un ejemplo más: utilizando los valores de  $50 \pm 0.02$  para un agujero y  $50 \pm 0.01$  para el perno obtendremos, al utilizar las expresiones dadas:

$$\begin{array}{r} 49.98 \\ - 50.01 \\ \hline -0.03 \end{array} \quad \text{juego mínimo}$$

$$\begin{array}{r} 50.02 \\ - 49.99 \\ \hline 0.03 \end{array} \quad \text{juego máximo}$$

Nuevamente el signo menos indica que no será juego mínimo sino interferencia máxima de 0.03 y en este caso tendremos un ajuste indeterminado.

Obsérvese que con la utilización de las expresiones dadas y la obtención de dos signos positivos se obtendrá un ajuste con juego, si se obtienen dos signos negativos se tratará de un ajuste forzado y si se obtiene un signo positivo y uno negativo se tendrá un ajuste indeterminado.

La tabla 15.2. muestra los ajustes más comúnmente utilizados en el sistema ISO.

Tabla 15.2.			AJUSTES PRINCIPALES		Características externas (posición)	Características internas y calidad de las características externas					
UTILIZAR DE PREFERENCIA LOS DE LOS CÍRCULOS						H 6	H 7	H 8	H 9	H 11	
AJUSTES CON JUEGO	JUEGO GRANDE	Ensamblados cuyo funcionamiento requiere juego amplio por dilataciones, mal alineamiento, cojinetes grandes, etc.			c				9	11	
					d				9	11	
	JUEGO MEDIANO	Piezas que giran o deslizan con una buena lubricación.			e		7	8	9		
					f	6	6-7	7			
	JUEGO PEQUEÑO	Piezas con guía exacta y movimientos de pequeña amplitud.			g	5	6				
					h	5	6	7	8		
AJUSTE EXACTO											
AJUSTES CON INTERFERENCIA	INTERFERENCIA PEQUEÑA	El ensamble se puede hacer a mano, la unión no puede transmitir esfuerzos. Se puede montar y desmontar.			Ensamble a mano	js	5	6			
						k	5				
	INTERFERENCIA MEDIANA				Ensamble a mano auxiliándose de un mazo	m		6			
						p		6			
	INTERFERENCIA GRANDE	Imposible desmontar sin deterioro. La unión puede transmitir esfuerzos.			Ensamble a prensa	s			7		
					Ensamble a prensa o por dilatación (verificar los esfuerzos internos).	u			7		
						x			7		
						z			7		

## EL SISTEMA AMERICANO

El sistema americano de límites y ajustes preferidos para partes cilíndricas está descrito en la Norma USAS B 4.1-1967 (reaprobada en 1979), en la que los ajustes estándar están designados mediante los símbolos listados a continuación, los cuales no son indicados en dibujo de manufactura ya que se recomienda especificar los tamaños.

RC Ajuste deslizante con juego  
 LC Ajuste con juego para localización  
 LT Ajuste de transición con juego o interferencia  
 LN Ajuste de interferencia para localización  
 FN Ajuste forzado o por contracción

Estos símbolos se utilizan junto con números, y representa la clase de ajuste: RC 1 a RC 9, LC 1 a LC 11, LT 1 a LT 16, LN 1 a LN 3, FN 1 a FN 5.

Ejemplos parciales de tablas de la norma mencionada se muestran en las tablas 15.3, 15.4 y 15.5. Los límites están dados en milésimas de pulgada y los símbolos H6, h5, etc., corresponden al sistema ISO ya descrito, sólo que con valores en pulgadas dados en la norma ISO 286.

**Tabla 15.3.**

Rango de tamaño nominal pulgadas más de - a	Clase LC 1			Clase LC 2			Clase LC 3			Clase LC 4			Clase LC 5		
	Límites de juego	Límites estándar		Límites de juego	Límites estándar		Límites de juego	Límites estándar		Límites de juego	Límites estándar		Límites de juego	Límites estándar	
		Aguj. H6	eje h5		Aguj. H7	eje h6		Aguj. H8	eje h7		Aguj. H10	eje h9		Aguj. H7	eje g6
0 - 0.12	0 0.45	+0.25 - 0	+ 0 -0.2	0 0.65	+0.4 - 0	+ 0 -0.25	0 1	+0.6 - 0	+ 0 -0.4	0 2.6	+1.6 - 0	+ 0 - 1.0	0.1 0.75	+0.4 - 0	-0.1 -0.35
0.12 - 0.24	0 0.5	+0.3 - 0	+ 0 -0.2	0 0.8	+0.5 - 0	+ 0 -0.3	0 1.2	+0.7 - 0	+ 0 -0.5	0 3.0	+1.8 - 0	+ 0 - 1.2	0.15 0.95	+0.5 - 0	-0.15 -0.45
0.24 - 0.40	0 0.65	+0.4 - 0	+ 0 -0.25	0 1.0	+0.6 - 0	+ 0 -0.4	0 1.5	+0.9 - 0	+ 0 -0.6	0 3.6	+2.2 - 0	+ 0 - 1.4	0.2 1.2	+0.6 - 0	-0.2 -0.6
0.40 - 0.71	0 0.7	+0.4 - 0	+ 0 -0.3	0 1.1	+0.7 - 0	+ 0 -0.4	0 1.7	+1.0 - 0	+ 0 -0.7	0 4.4	+2.8 - 0	+ 0 - 1.6	0.25 1.35	+0.7 - 0	-0.25 -0.65



Tabla 15.4.

Rango de tamaño nominal pulgadas más de - a	Clase LT 1			Clase LT 2			Clase LT 3			Clase LT 4			Clase LT 5		
	Ajuste	Límites estándar		Ajuste	Límites estándar		Ajuste	Límites estándar		Ajuste	Límites estándar		Ajuste	Límites estándar	
		Aguj. H7	eje js6		Aguj. H8	eje js7		Aguj. H7	eje k6		Aguj. H8	eje k7		Aguj. H7	eje n6
0 - 0.12	-0.10 +0.50	+0.4 - 0	+0.10 -0.10	-0.2 +0.8	+0.6 - 0	+0.2 -0.2							-0.5 +0.15	+0.4 - 0	+0.5 +0.25
0.12 - 0.24	-0.15 +0.65	+0.5 - 0	+0.15 -0.15	-0.25 +0.95	+0.7 - 0	+0.25 -0.25							-0.6 +0.2	+0.5 - 0	+0.6 +0.3
0.24 - 0.40	-0.2 + 0.8	+0.6 - 0	+ 0.2 -0.2	-0.3 +1.2	+0.9 - 0	+0.3 -0.3	-0.5 +0.5	+0.6 - 0	+0.5 -0.1	-0.7 +0.8	+0.9 - 0	+0.7 -0.1	-0.8 +0.2	+0.6 0	+0.8 -0.4
0.40 - 0.71	-0.2 + 0.9	+0.7 - 0	+0.2 -0.2	-0.35 +1.35	+1.0 - 0	+0.35 -0.35	-0.5 +0.6	+0.7 - 0	+0.5 +0.1	-0.8 +0.9	+1.0 - 0	+0.8 -0.1	-0.9 +0.2	+0.7 - 0	+0.9 +0.5

Tabla 15.5.

Rango de tamaño nominal pulgadas más de - a	Clase LN 1			Clase LN 2			Clase LN 3		
	Límites de interferencia	Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar	
		Aguj. H6	eje n5		Aguj. H7	eje p6		Aguj. H7	eje r6
0 - 0.12	0 0.45	+0.25 - 0	+0.45 +0.25	0 0.65	+0.4 - 0	+0.65 - 0.4	0.1 0.75	+0.4 - 0	+0.75 +0.5
0.12 - 0.24	0 0.5	+0.3 - 0	+0.5 +0.3	0 0.8	+0.5 - 0	+0.8 +0.5	0.1 0.9	+0.5 - 0	+0.9 +0.6
0.24 - 0.40	0 0.65	+0.4 - 0	+0.65 +0.4	0 1.0	+0.6 - 0	+1.0 +0.6	0.2 1.2	+0.6 - 0	+1.2 +0.8
0.40 - 0.71	0 0.8	+0.4 - 0	+0.8 +0.4	0 1.1	+0.7 - 0	+1.1 +0.7	0.3 1.4	+0.7 - 0	+1.4 +1.0

## INTERPRETACIÓN DE LÍMITES DE TAMAÑO

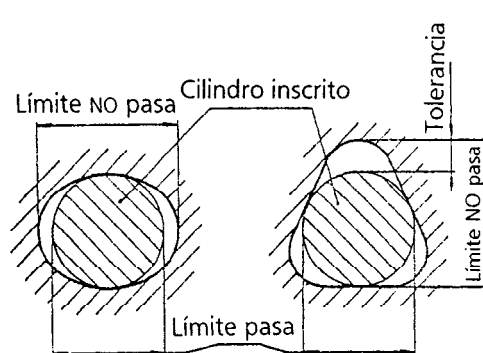
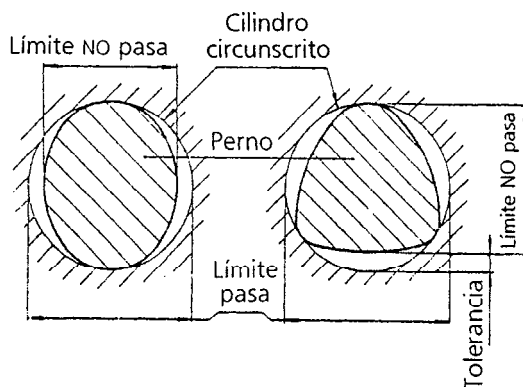
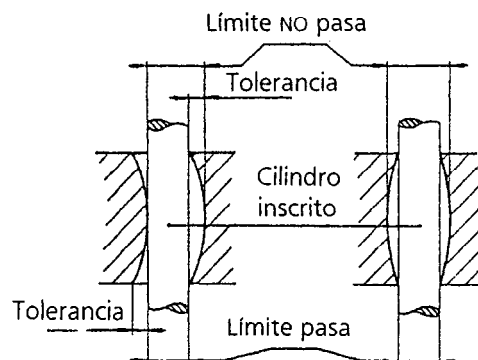
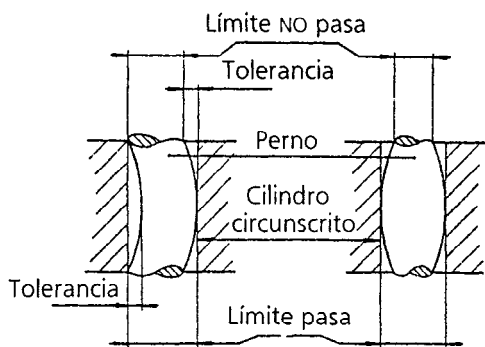
Con el objeto de garantizar, tanto como sea posible que los requerimientos funcionales del sistema ISO de límites y ajustes se logren, los límites de tamaño deberán interpretarse en la siguiente forma dentro de la longitud prescrita.

En lo que respecta al diámetro del mayor cilindro perfecto imaginario —el cual puede inscribirse dentro del agujero de modo que contacte justamente los puntos altos de la superficie— no deberá ser un diámetro menor que el límite de tamaño “pasa”; adicionalmente el máximo diámetro en cualquier posición dentro del agujero no debe exceder el límite de tamaño “no pasa”.

En lo que se refiere a pernos, el diámetro del menor cilindro perfecto imaginario —el cual puede circunscribirse alrededor del perno de modo que contacte justamente los puntos más altos de la superficie— no deberá ser un diámetro mayor que el límite de tamaño “pasa”. Además, el mínimo diámetro en cualquier posición sobre el perno no debe ser menor que el límite de tamaño “no pasa”.

La interpretación anterior significa que si el tamaño del agujero o perno está en cada punto en su límite “pasa”, entonces el agujero o perno deberá ser perfectamente redondo y recto.

A menos que sea especificado de otro modo, y sujeto a los requerimientos anteriores los valores que no corresponden a la forma idealmente redonda y recta puede alcanzar el valor total de la tolerancia diametral especificada. Los errores



**Figura 15.4.** Errores extremos de forma de pernos permitidos por la interpretación recomendada de los límites de tamaño.

**Figura 15.5.** Errores extremos de forma de agujeros permitidos por la interpretación recomendada de los límites de tamaño.

extremos de forma típicos permisibles están ilustrados en las figuras 15.4 y 15.5. Tales errores extremos son poco probables en la práctica.

La interpretación precedente de los límites de tamaño resulta del principio de Taylor, denominado así en honor de W. Taylor quien lo estableció en 1905. El principio está basado en el uso de un sistema correcto de calibres límite para inspeccionar pernos y agujeros; de acuerdo con este principio, un agujero debería ensamblar completamente con un perno patrón cilíndrico "pasa" hecho al límite pasa especificado del agujero, y de una longitud al menos igual a la longitud de ensamble del agujero y perno.

Adicionalmente el agujero se mide o inspecciona para verificar que su diámetro máximo no sea mayor que el límite no pasa. El perno debería ensamblar completamente con un anillo patrón hecho al límite pasa especificado del perno y de una longitud al menos igual a la longitud de ensamble del perno y el agujero. Por último el eje se mide o inspecciona para verificar que su diámetro mínimo no sea menor que el límite no pasa.

En casos especiales, el máximo error en forma permitido por la interpretación anterior puede ser demasiado grande como para permitir un funcionamiento satisfactorio de las partes ensambladas. En estos casos deberán darse tolerancias separadas para la forma; por ejemplo tolerancias separadas de redondez y rectitud de acuerdo con las normas ISO 1101.

## CALIBRES DE DIMENSIÓN FIJA

El comentario anterior se refiere a la inspección dimensional de piezas por medio de calibradores límite, uno de los cuales mide la dimensión pasa y otra la de no pasa y pueden ser, por ejemplo, pernos patrón cilíndricos o calibres exteriores sólidos lisos (Fig. 15.6).

Se da a continuación una breve descripción de tipos comunes de calibres de tamaño fijo y calibres límite.

La forma de un calibre de tamaño fijo es el complemento o réplica inversa de la parte cuyas dimensiones están siendo medidas. Tales calibres complementan las dimensiones de la parte, ya sea en su condición especificada (exactamente el punto medio de la especificación) o en sus condiciones limitantes (máximo material o mínimo material). Los últimos se denominan calibres límite. Los calibres límite son de dos clases (1) calibres en condición de material máximo (MMC) conocidos como calibres "pasa", los cuales controlan el mínimo juego permisible o máxima interferencia en el ajuste de partes ensamblantes y por lo tanto controlan la intercambiabilidad, y (2) calibres en condición de material mínimo (LMC) conocidos como calibres "no pasa" (o en el caso de calibres para partes roscadas calibres alto o bajo) los cuales controlan el máximo juego o mínima interferencia entre partes ensamblantes, así los calibres límite controlan el juego o interferencia de partes ensamblantes.

Se han establecido cuatro clases de tolerancias para la fabricación de los calibres cilíndricos de dimensión fija que comprenden a los pernos, anillos y discos patrón y cuyos valores, que están en función del tamaño, se dan en la tabla 15.6.

Tabla 15.6.

RANGO DE TAMAÑO PULG (mm)		TOLERANCIA EN $\mu$ pulg ( $\mu$ m)			
MÁS DE	HASTA INCLUIR	CLASE XX	CLASE X	CLASE Y	CLASE Z
.029(0.73)	.815(20.96)	20(0.51)	40(1.02)	70(1.78)	100(2.54)
.825(20.96)	1.510(38.55)	30(0.76)	60(1.52)	90(2.29)	120(3.05)
1.510(38.35)	2.510(63.75)	40(1.02)	80(2.04)	120(3.05)	160(4.06)
2.510(63.75)	4.510(114.55)	50(1.27)	100(2.54)	150(3.81)	200(5.08)
4.510(114.55)	6.510(165.35)	65(1.65)	130(3.30)	190(4.83)	250(6.35)
6.510(165.35)	9.010(228.85)	80(2.04)	160(4.06)	240(6.10)	320(8.13)
9.010(228.85)	12.010(304.80)	100(2.54)	200(5.08)	300(7.62)	400(10.16)

Norma de referencia ANSI B 89.1.6-1976

Adicionalmente a las tolerancias de tamaño mostradas en la tabla 15.1 los calibres deberán cumplir con tolerancias de redondez, conicidad, rectitud y acabado superficial.

Pueden considerarse con respecto a su uso lo siguiente:

Clase XX referencia

Clase X calibración

Clase Y inspección

Clase Z taller

Se debe tener en cuenta, al momento de seleccionar la clase adecuada para un determinado trabajo, la relación de 10 a 1 que se recomienda exista entre la tolerancia de la pieza por inspeccionar y la tolerancia de fabricación del calibre.

Cada vez que un calibre se utiliza, las superficies utilizadas para medición están sujetas a desgaste, por lo tanto una tolerancia de desgaste deberá ser prevista para compensar este desgaste. Esto se hace generalmente quitando un poco de la tolerancia de la parte por inspeccionar y transfiriéndola en forma de metal al calibre. Por lo anterior y a menos que otra cosa sea especificada por el

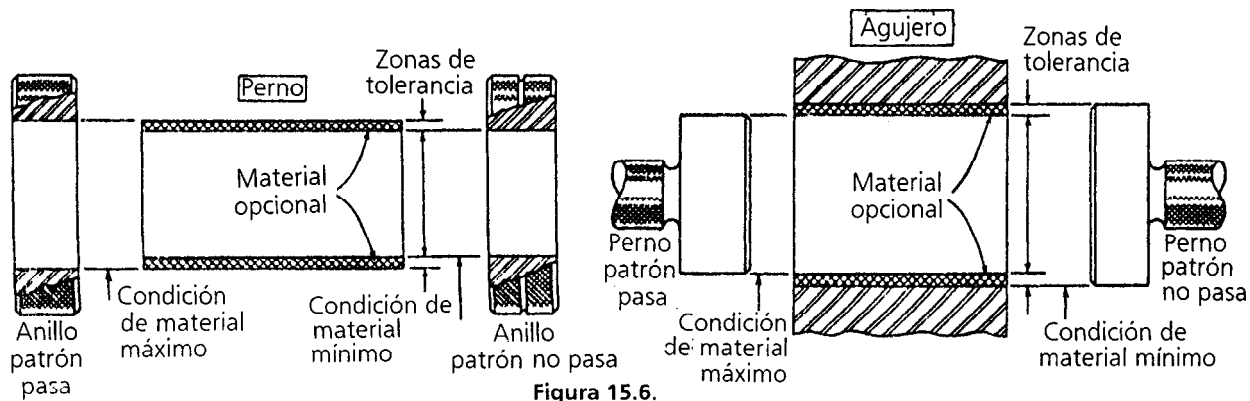


Figura 15.6.

usuario las tolerancias de fabricación a los pernos patrón se aplica como sigue: más en los calibres "pasa" de taller y en los "no pasa" de inspección, y menos en los calibres "no pasa" de taller y en los "pasa" de inspección.

Estos calibres se fabrican normalmente con tolerancias bastante menores que las piezas que van a inspeccionarse y generalmente del lado seguro, es decir pueden rechazar piezas buenas cerca del límite pero no aceptar piezas malas. (Fig. 15.6.)

Obsérvese que los tamaños de diseño están asociados con una de las condiciones de material de la característica por medir. Los calibres pasa con la condición de material máximo y los calibres no pasa con la condición de material mínimo, a partir de estas dimensiones se establecerán las tolerancias del fabricante y desgaste del calibre.

La Norma DIN 7162 especifica calibres de taller y de inspección con tolerancias para cuando están nuevos y cuando ya han sido utilizados (tolerancias de desgaste) mediante fórmulas cuyo uso requiere localizar valores en tablas que están en función del tamaño y el grupo de tolerancia (ISO 6 a 16).

La Norma DIN 2250 sobre anillos patrón pasa para propósito general y anillos patrón para fijado (Fig. 15.7), indica que cuando los anillos patrón están diseñados para checar dimensiones con símbolo de tolerancia ISO, la dimensión  $d_1$  (diámetro interior del anillo) debe cumplir con DIN 7163; aquellos diseñados para checar dimensiones con indicación numérica de tolerancia, con DIN 7162 y aquellos diseñados para inspección de roscas internas con DIN 13 parte 17. Adicionalmente se requiere, para los anillos patrón de fijado, que éstos sean producidos a una tolerancia JS3 teniendo una altura de irregularidades de diez puntos  $R_t$  de  $0.4\ \mu\text{m}$  y una tolerancia de cilindridad que no exceda 0.1 veces el valor numérico relevante de la serie IT4, como se especifica en DIN 7151 para diámetros de hasta 150 mm.

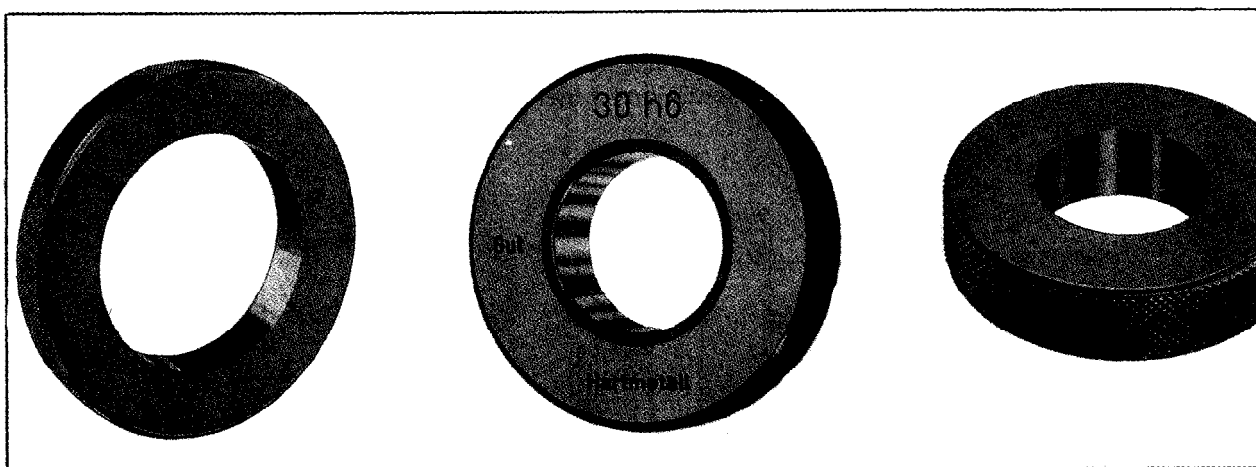


Figura 15.7.

Como ejemplo la tolerancia de manufactura para anillos patrón de fijado de 50 a 80 mm de diámetro nominal será:

Tolerancia de tamaño para d1: JS 3 =  $\pm 2.5 \mu\text{m}$

(No mostrado en la Tabla 15.1.)

Tolerancia de cilíndricidad para d1: 0.1 IT 4 =  $0.8 \mu\text{m}$

### PERNO PATRÓN CILÍNDRICO

Los pernos patrón cilíndricos han sido normalizados en los cuatro siguientes tipos:

1. Montaje cónico (Fig. 15.8)
2. Triple montaje reversible (Fig. 15.9)
3. Diseño anular (Fig. 15.10)
4. Tipo alambre (Fig. 15.11)



Figura 15.8.

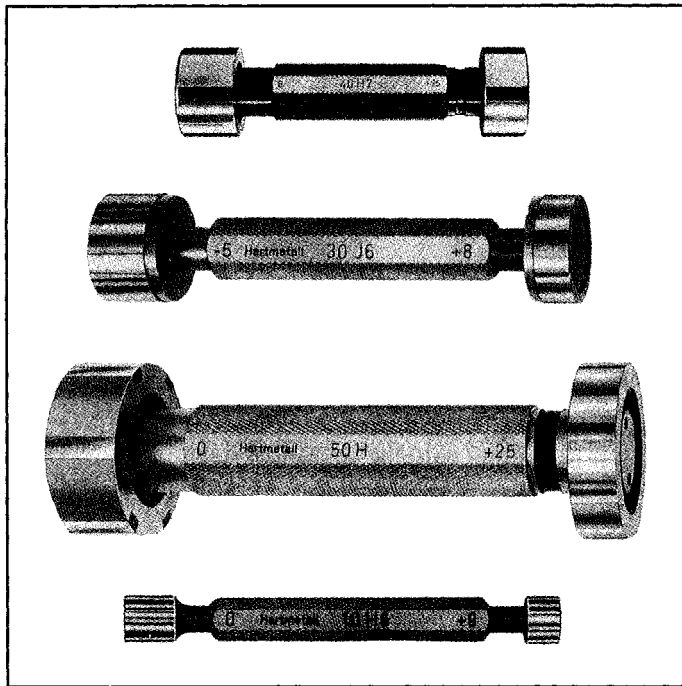


Figura 15.9.

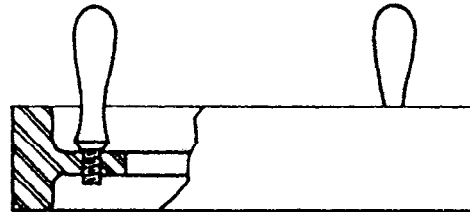


Figura 15.10.

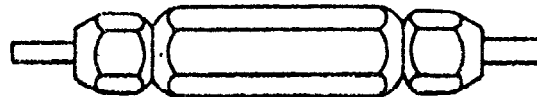


Figura 15.11.

En el tipo de montaje cónico, el perno patrón propiamente dicho tiene un zanco cónico que se fuerza dentro del mango. Un agujero o ranura en el mango permite remover el perno patrón. Cuando dos pernos patrón se montan en extremos opuestos del mango, los dos pernos se denominan como pasa y no pasa respectivamente. Existe un método para poder identificar cuál es cuál y consiste en hacer más corto el perno no pasa o hacer una ranura en el mango cerca del perno no pasa, además de que, normalmente, las dimensiones de los pernos están marcadas sobre el mango.

Con el objeto de no tener que sacar el perno y voltearlo para la inspección pasa-no pasa, hay pernos patrón progresivos o escalonados en los que la primera parte tiene la dimensión de pasa y la otra la de no pasa. Este diseño se utiliza para dimensiones de hasta 1.510 pulg.

En el tipo de montaje triple reversible, el calibre es, en realidad, un cilindro con un agujero en el centro con cajera en ambos lados y tres dientes en forma de cuña en el mango son forzados dentro de las correspondientes ranuras del calibre mediante un tornillo. Este diseño se utiliza para dimensiones mayores a 1.510 pulg.

Los tipos alambre se utilizan para dimensiones inferiores a .510 pulg y los más delgados son alambres calibrados con un recubrimiento (aislante térmico) en el centro para manejarlos y marcar la dimensión correspondiente.

El tipo perno reversible consiste en una parte roscada al mango que sujeta al perno patrón.

Las dimensiones detalladas para los tipos mencionados antes y otros que se indican más adelante pueden verse en la Norma ANSI B 47.1-1981.

Juegos de pernos patrón cilíndricos (DIN 2269) como el mostrado en las figuras 15.12, 15.13 y 15.14 se utilizan frecuentemente para medición de agujeros buscando el perno de mayor diámetro que puede ser introducido en un agujero.

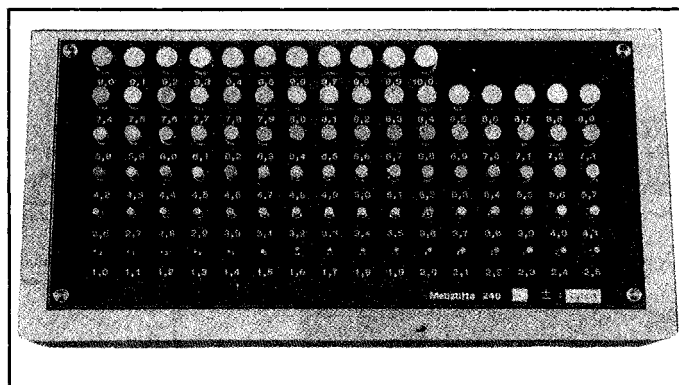


Figura 15.12.

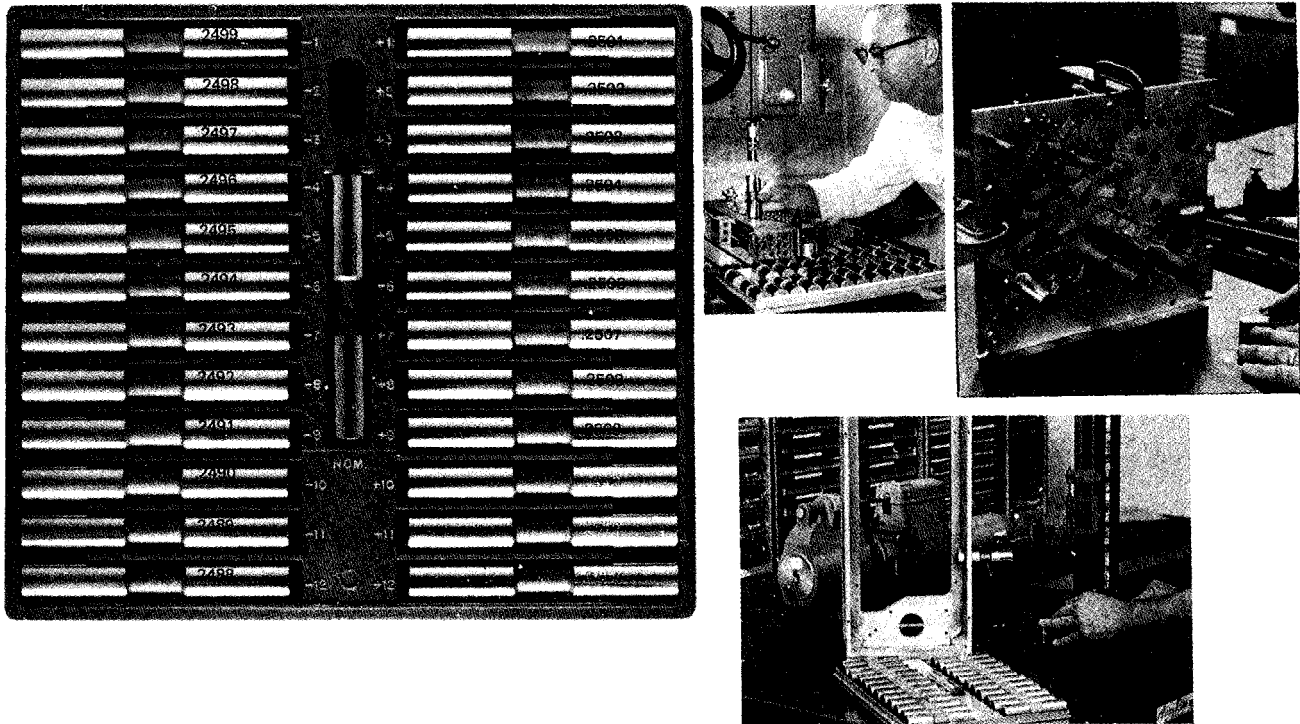


Figura 15.13.

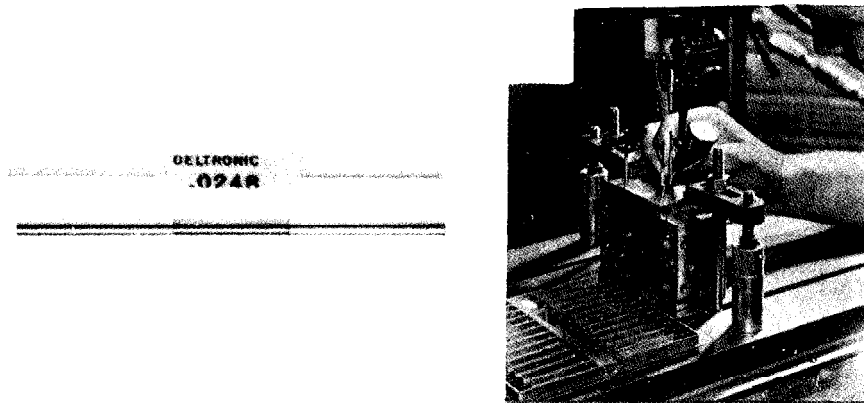


Figura 15.14.

## CALIBRES ESPECIALES

Un tipo muy importante lo constituye los calibres exteriores sólidos lisos (a veces denominados tipo arco). ANSI B 47.1 los define como un calibre externo comple-



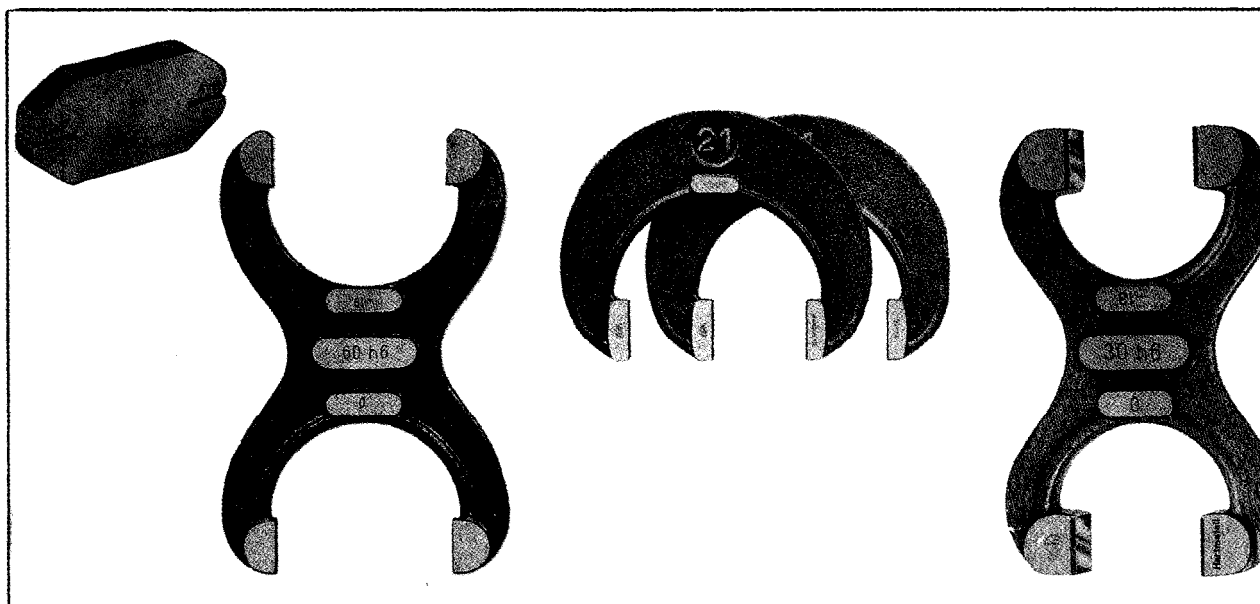


Figura 15.15.

to empleado para controlar el tamaño de dimensiones externas lisas, que contiene un arco abierto y superficies de medición en forma de yunques fijos paralelos no ajustables (Fig. 15.15), aunque existen del tipo ajustable que tienen uno o más

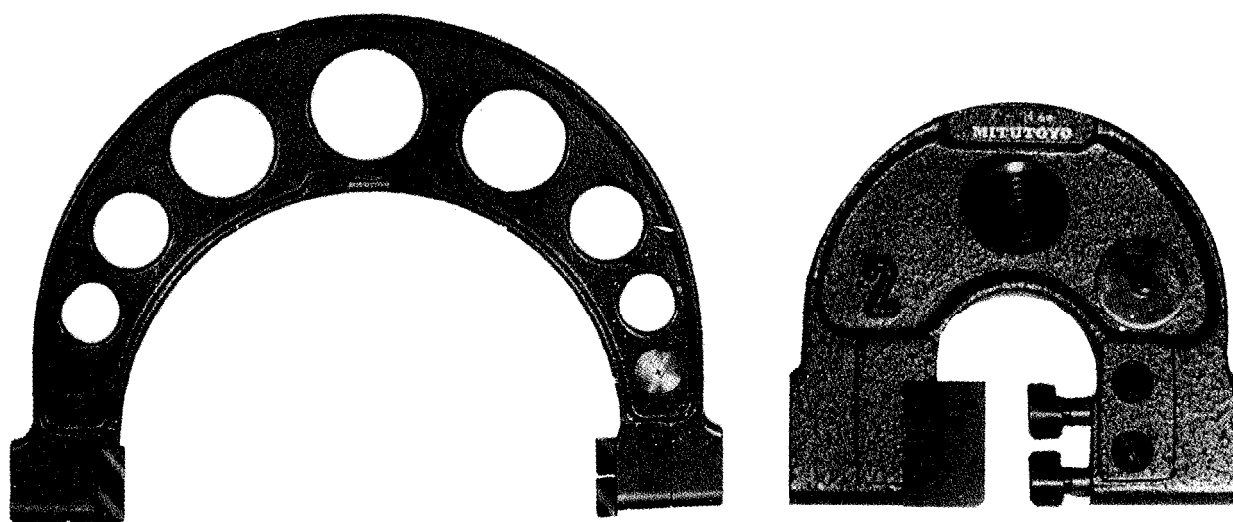


Figura 15.16.

pares de superficies de medición que pueden ajustarse y colocarse a cualquier tamaño predeterminado dentro del rango del calibre (Fig. 15.16).

Antes de que un calibre exterior ajustable pueda utilizarse para verificar partes, las superficies de medición deben ajustarse por pares a las dimensiones de pasa y no pasa auxiliándose de bloques, pernos o discos patrón; después de apretar firmemente los tornillos que bloquean el movimiento de las superficies de medición se comprueba si el ajuste resultó adecuado y se procede a su uso.

Existen también calibres para inspección de piezas cónicas y conos, Morse e ISO (interiores y exteriores); algunos de ellos tienen sólo una línea graduada

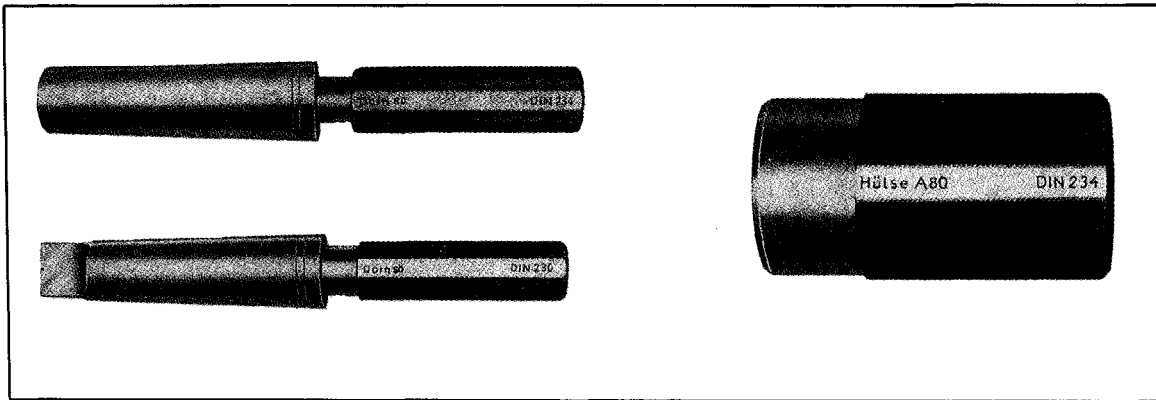


Figura 15.17.

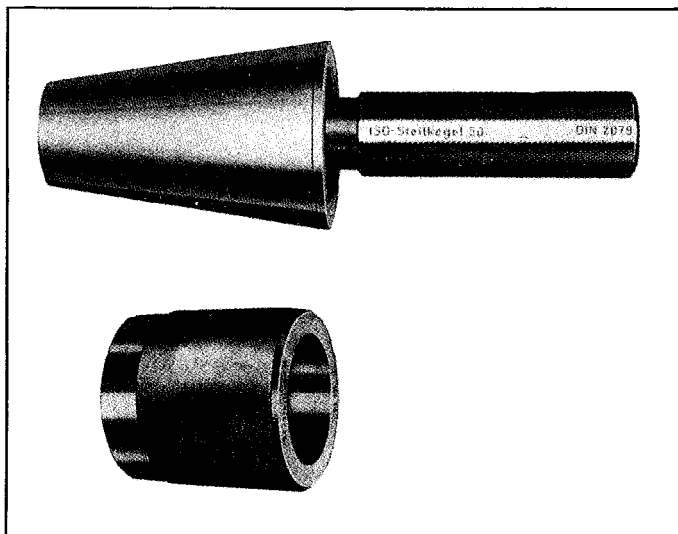


Figura 15.18.

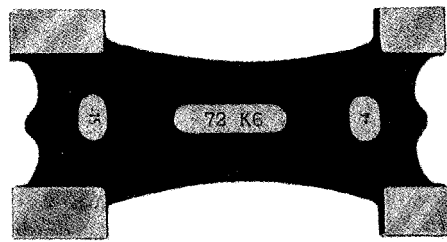


Figura 15.19.

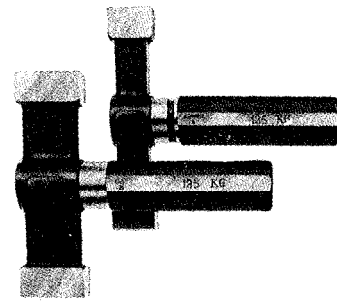


Figura 15.20.

alrededor que representa la dimensión especificada, pero otros tienen dos líneas graduadas alrededor. Una vez montado el cono en el calibre, si una de las líneas no se observa y la otra sí, indica que la parte está dentro de los límites establecidos (Figs. 15.17 y 15.18).

En las figuras 15.19 y 15.20 se ilustran calibres planos y espiga plana para medición de agujeros respectivamente.

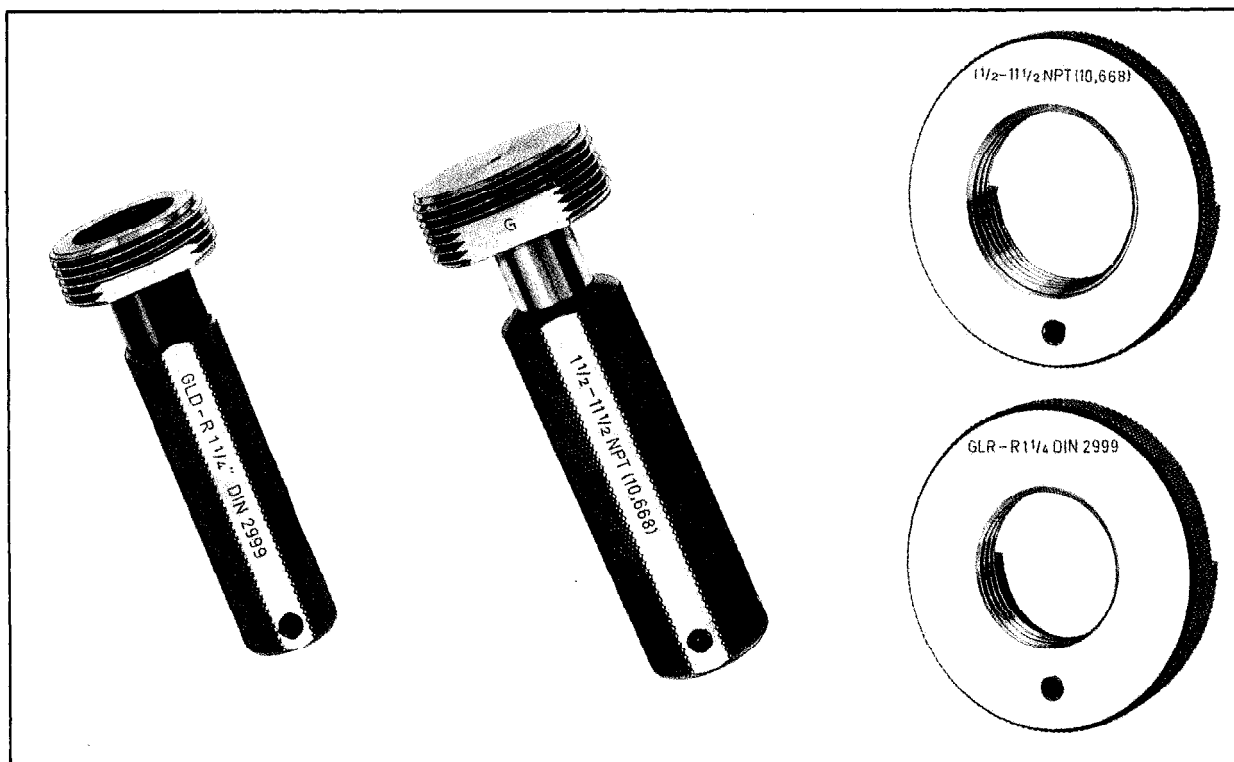


Figura 15.21.

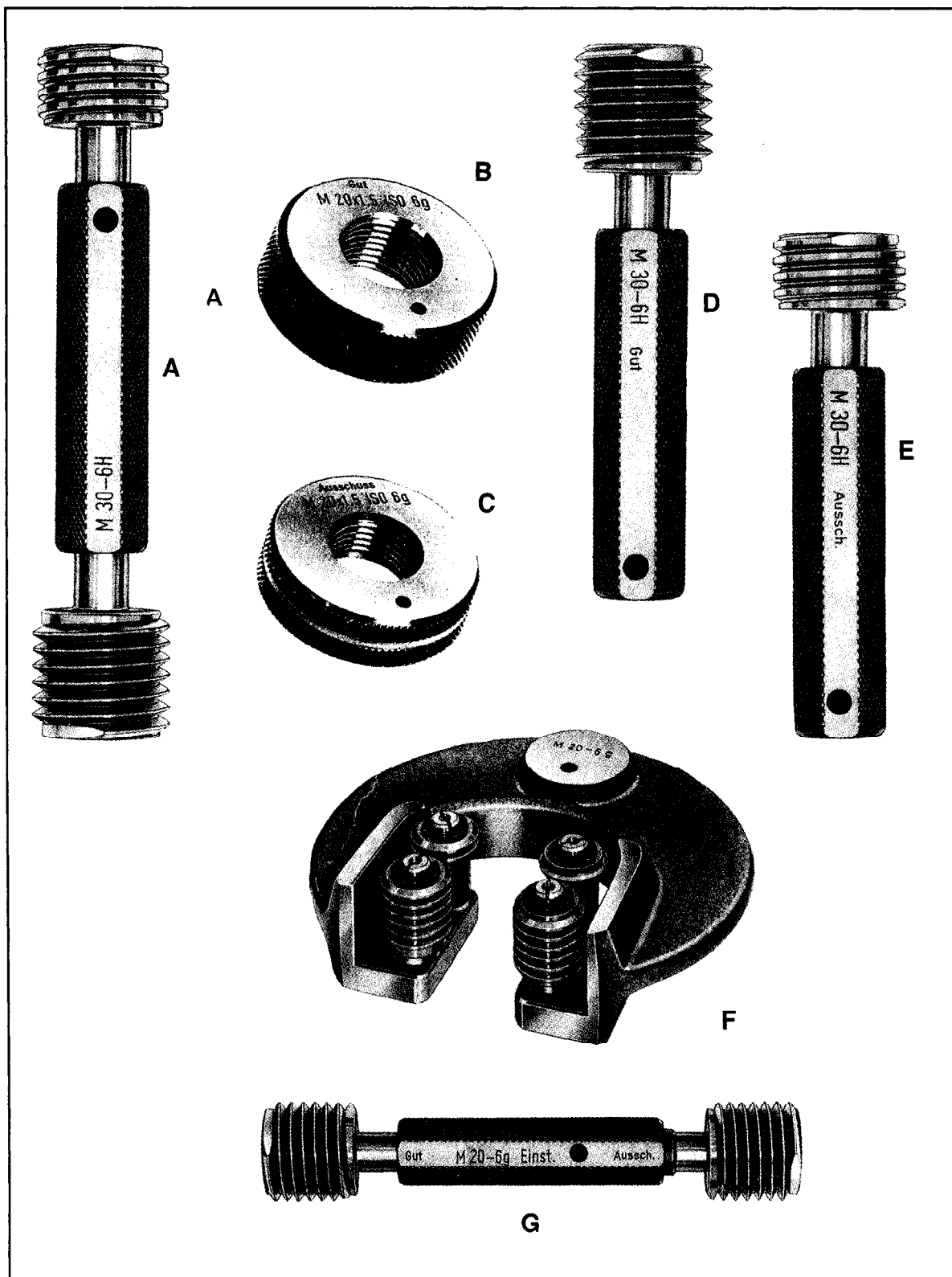


Figura 15.22.

También existe una gran variedad de calibres para inspección de partes roscadas externa e internamente de los diferentes tipos de roscas existentes (en V, ACME, CUADRADA, CÓNICA, etc.) las dimensiones y características, de los cuales se encuentran en diversas Normas ANSI, ISO, DIN. Algunos tipos se ilustran en las figuras 15.21. y 15.22.

Un ejemplo de calibre fijo para inspección de anchos de cuñeros o ranuras se muestra en la figura 15.23. El lado pasa representa la medida superior y sólo debe dejarse deslizar por su propio peso; mientras que el lado no pasa, que representa la medida inferior, no debe poderse deslizar dentro al tratar de hacerlo.

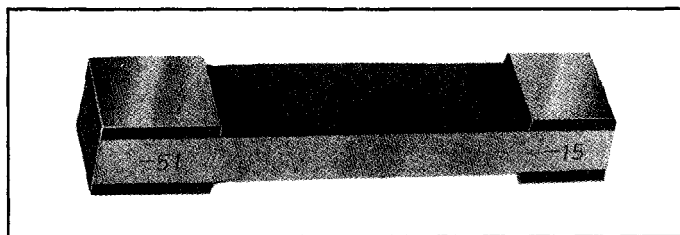


Figura 15.23.

A principios del siglo XX las tolerancias de los productos en la industria metalmeccánica eran generalmente del orden de 0.10 a 0.25 mm. Con tales tolerancias los calibres de tamaño fijo, a pesar de su error de "tacto" y la información "bueno o malo" (Pasa-No pasa) que proporcionan, fueron un medio adecuado, barato y rápido para inspección de productos. En consecuencia, la preponderancia fue de los calibres de tamaño fijo. Mientras estuvieron disponibles los calibres variables (esto es, vernieres, indicadores de carátula, etc.), los calibres de tamaño fijo dominaron el uso y presupuestos de los calibres. Otras formas de medir con exactitud estaban disponibles, pero éstas eran normalmente realizadas en laboratorios de medición más que en áreas productivas.

Dentro de varias décadas, las tolerancias comunes en la industria metalmeccánica han sido reducidas en un orden de magnitud, o más haciendo obsoletos los calibradores de tamaño fijo debido a 1) el alto error del "tacto" con relación al nuevo nivel de tolerancias y 2) lo inadecuado de la información "bueno o malo" para propósitos de control estadístico del proceso.

Sin embargo a pesar de lo antes mencionado algunos sectores industriales continúan utilizando este tipo de equipo de medición para determinar aceptabilidad de partes o para otros usos.

## NORMAS DE REFERENCIA

### Calibres de dimensión fija

DIN 7161, 7162, 7163, 7164, 229, 230, 234, 324, 2079, 2080, 5502, 55022, 471, 67999, 2235, 2230, 2238, 2231, 2250, 2254, 2269.



ANSI B47.1-1981, B 89.1.6-1976 Federal Specification GGG-G-61  
JIS B 7420-1980, B 7421-1971, B 3301-1981  
Sistemas de límites y ajustes  
ISO R286, JIS B 040-1983                      USAS B 4.1-1967



# Comparadores ópticos

## INTRODUCCIÓN

El equipo de medición óptica más utilizado en diversas industrias es el comparador óptico; también se lo conoce como proyector de perfiles, porque es un excelente medio para medir piezas pequeñas a través de la visualización de su imagen ampliada sobre una pantalla translúcida.

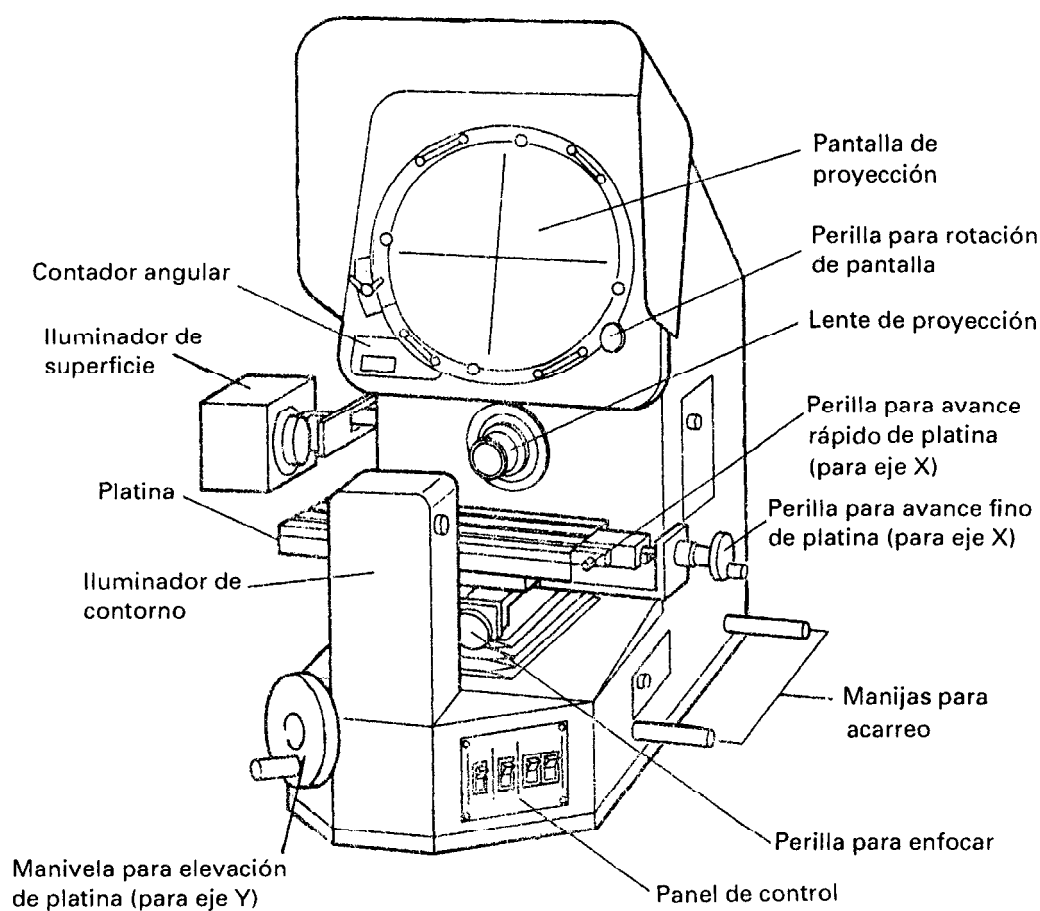


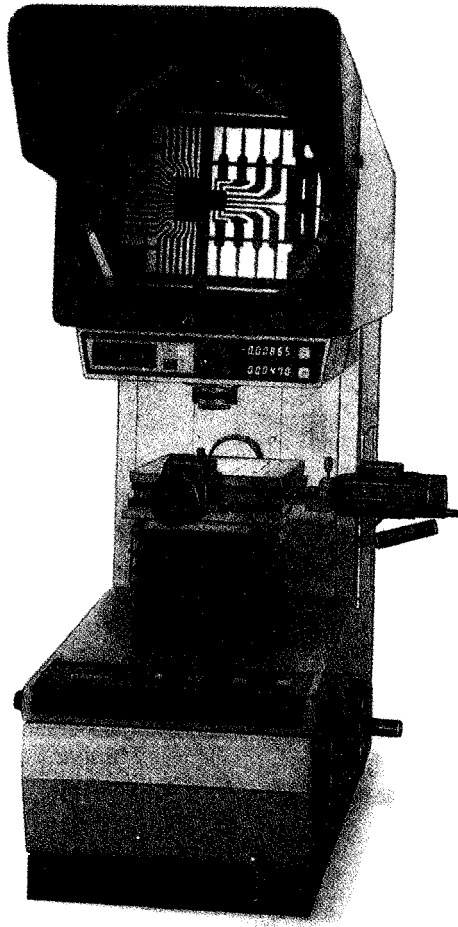
Figura 16.1 Comparador óptico de iluminación horizontal.



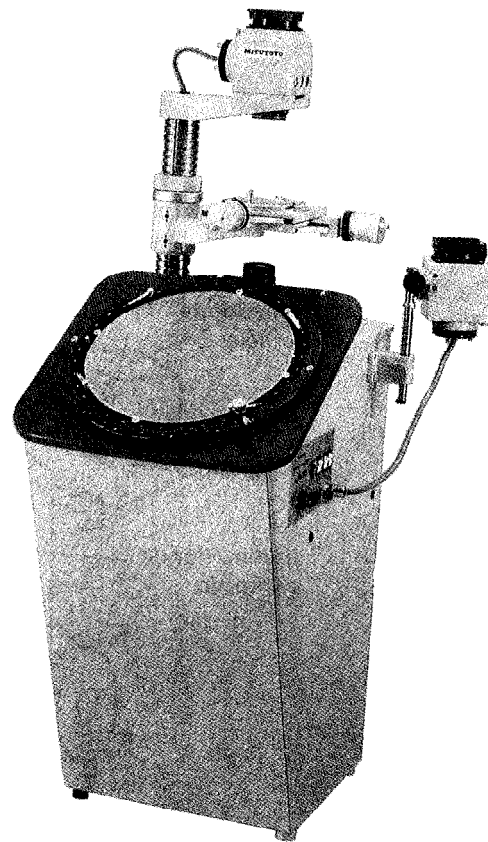
Como otros equipos, los comparadores ópticos han evolucionado continuamente desde que apareció el primero, en 1915, hasta nuestros días.

### CLASIFICACIÓN

Los comparadores ópticos se clasifican, por el tipo de iluminación que emplean, en: horizontal, vertical ascendente y vertical descendente. La figura 16.1 muestra uno de iluminación horizontal con el nombre de las partes principales que lo integran. Las figuras 16.2 y 16.3 muestran modelos de iluminación vertical ascendente y descendente, respectivamente.



**Figura 16.2.** Comparador óptico de iluminación vertical ascendente.



**Figura 16.3.** Comparador óptico de iluminación vertical descendente.

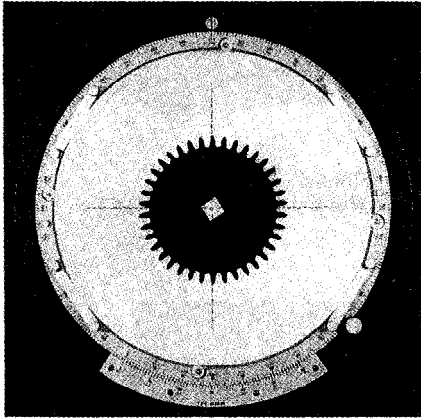
## SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

La clasificación anterior está basada en la iluminación de contorno, pero además de ésta se tiene iluminación de superficies; en las figuras 16.4 y 16.5 se muestra la aplicación de ambos tipos de iluminación. Con la iluminación de contorno es posible hacer mediciones y con la de superficie pueden hacerse observaciones de las condiciones de la superficie y mediciones. Ambos tipos de iluminación pueden utilizarse simultáneamente y por lo general se cuenta con un control que permite aumentar la intensidad de la iluminación de superficie por arriba de lo normal, para usarse con superficies poco reflejantes. Se recomienda sólo utilizar alta intensidad cuando sea necesario para no reducir la vida útil de la lámpara.

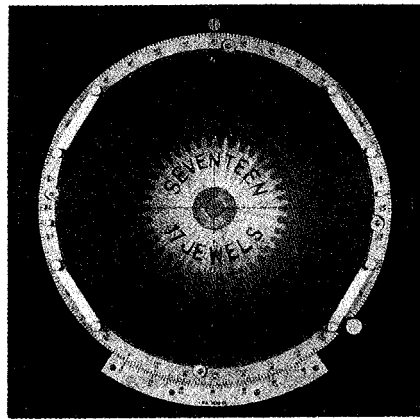
La figura 16.6 muestra la trayectoria de la luz en un comparador óptico de iluminación vertical ascendente.

La figura 16.7 muestra la trayectoria de la luz utilizada para iluminación de contorno en un comparador de iluminación horizontal.

La figura 16.8 muestra la trayectoria de la luz utilizada para iluminación de superficie en un comparador de iluminación horizontal.



**Figura 16.4** Imagen con iluminación de contorno.



**Figura 16.5.** Imagen con iluminación de superficie.

Para usar la iluminación de superficie se requiere utilizar un espejo semirreflejante o espejo semiazogado (el cual se obtiene evaporando  $\text{TiO}$  y  $\text{ZnS}$  en un cristal delgado) que se coloca frente a las lentes de proyección de bajo aumento (10x y 20x) y que está integrado dentro de las lentes de proyección de alto aumento (50x y 100x) (Fig. 16.9). Para mejorar el contraste de la imagen pueden utilizarse espejos de reflexión y así iluminar la superficie de la pieza en dirección oblicua a ella. Sin embargo, con este último método pueden ocurrir errores de dimensión (Figs. 16.10 y 16.11).

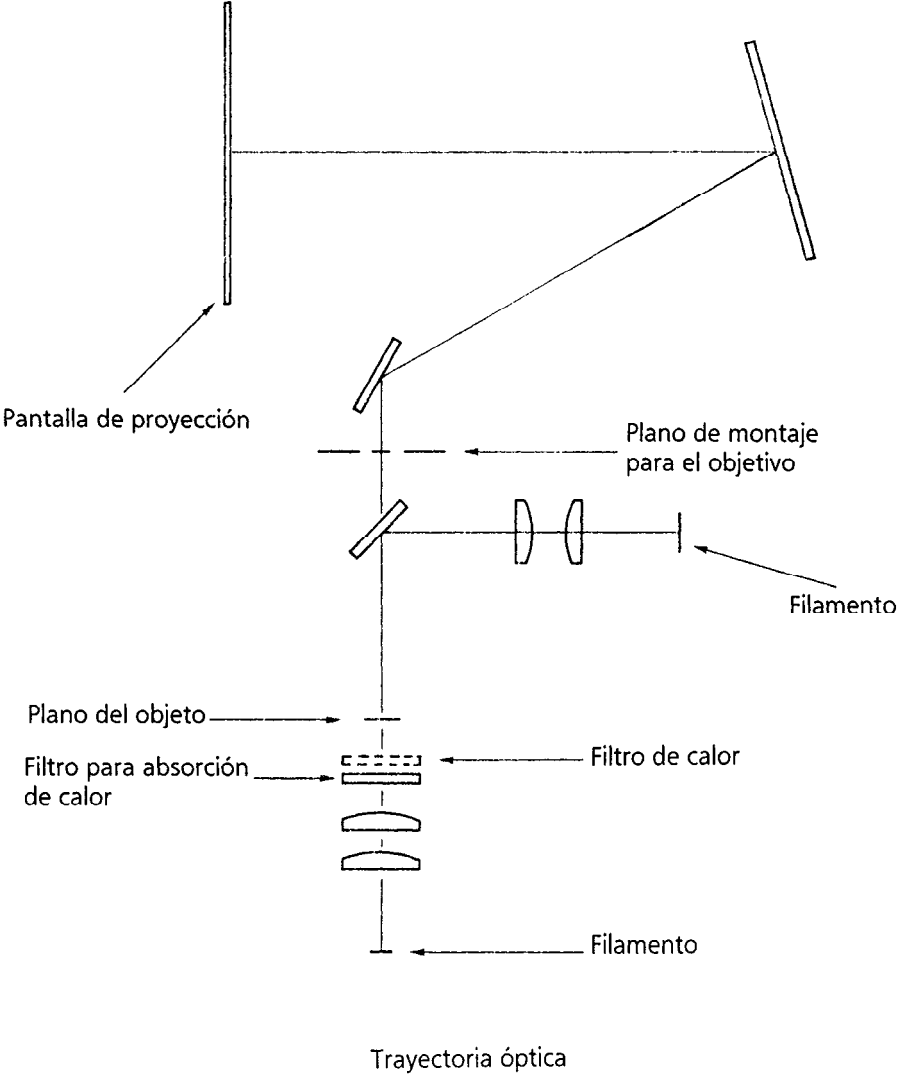
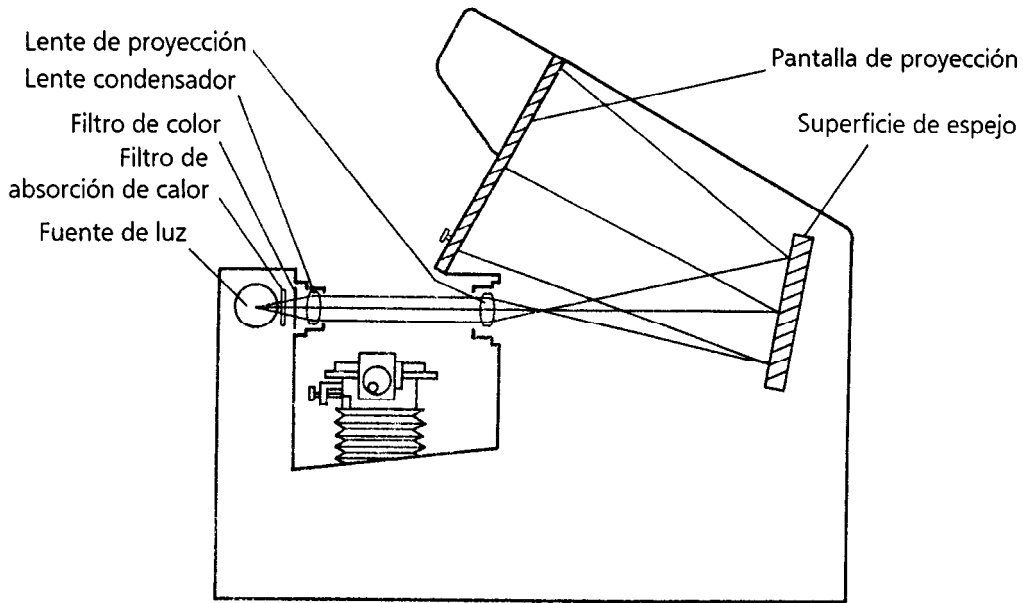
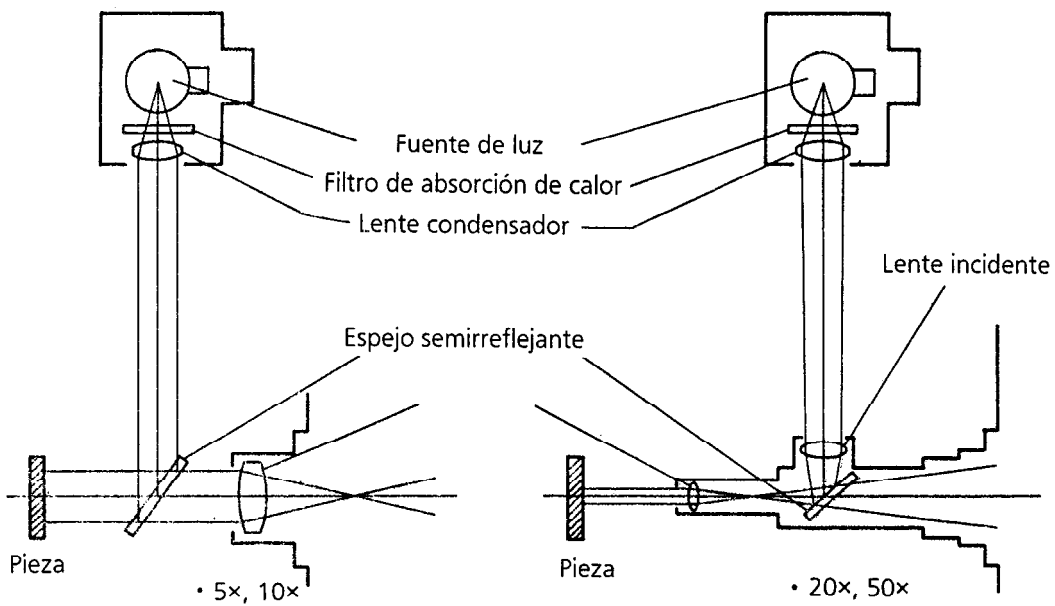


Figura 16.6.



**Figura 16.7.** Sistema óptico del iluminador de contorno.



**Figura 16.8.** Sistema óptico del iluminador de superficie.

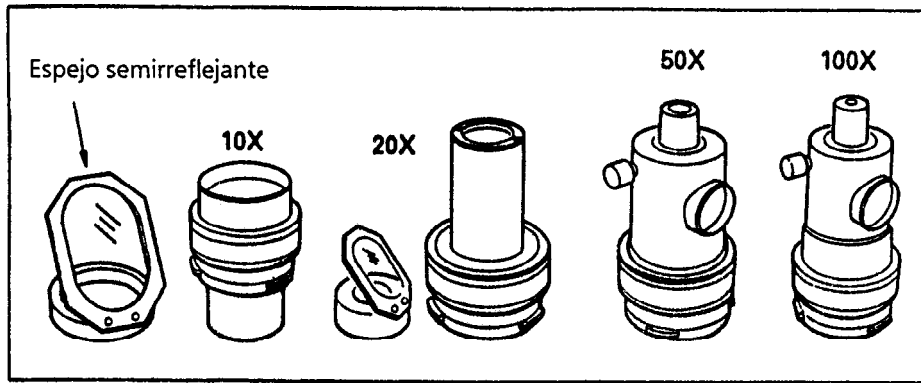


Figura 16.9.

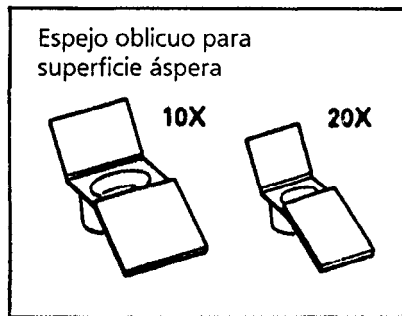


Figura 16.10.

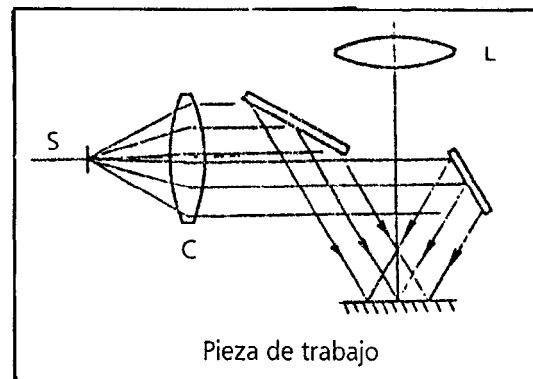


Figura 16.11.

La figura 16.12 muestra el espejo semirreflejante y el espejo oblicuo ya montados.

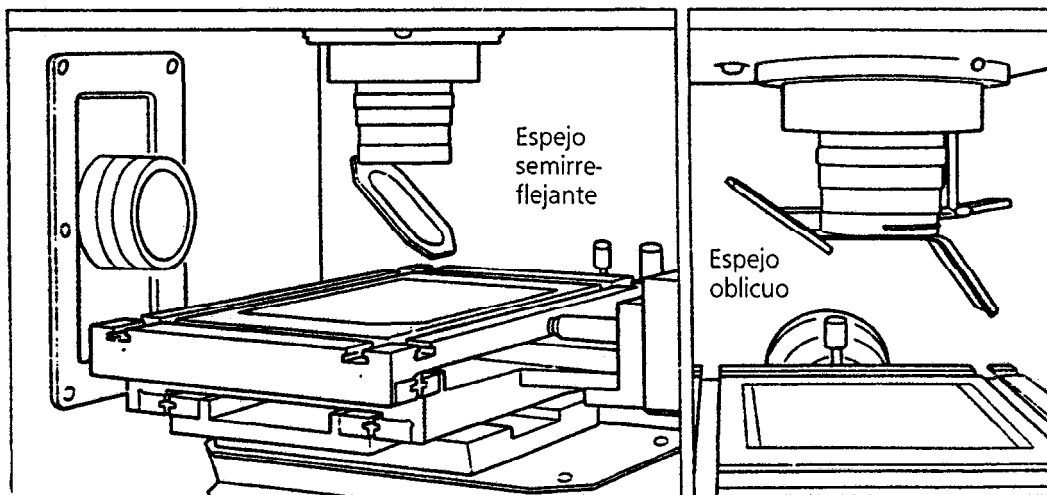


Figura 16.12.

En los comparadores ópticos de iluminación vertical es necesario que la luz pase a través de la platina y, por tanto, lleva en su parte central un vidrio grueso, característica que no tienen los de iluminación horizontal.

## MEDICIÓN LINEAL

Sobre la platina se coloca la pieza que vaya a medirse y ésta se aleja o acerca al lente de proyección (véase Fig. 16.13) girando la manivela para enfocar hasta que se logre obtener una imagen claramente definida de la parte que se desea medir u observar sobre la pantalla.

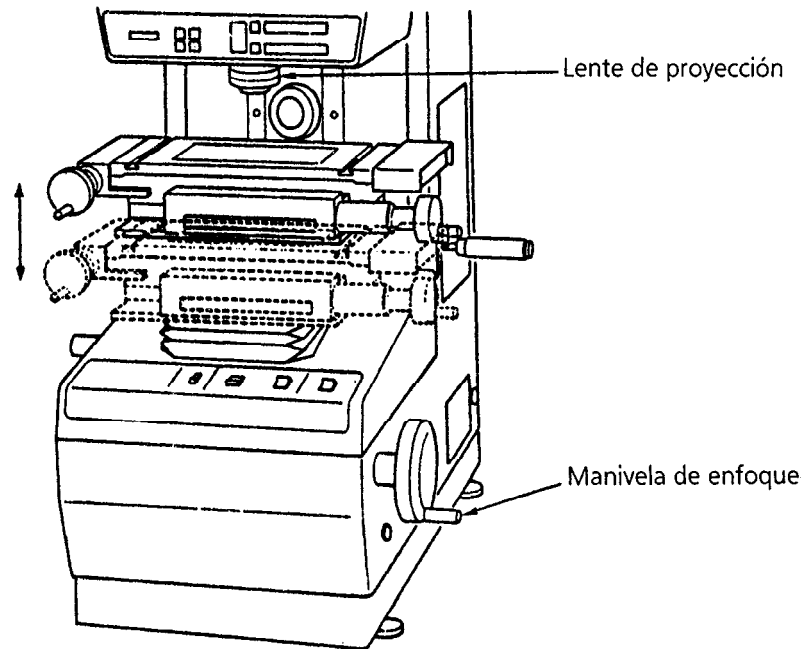


Figura 16.13.

Para facilitar el posicionamiento adecuado de piezas, las platinas cuentan con ranuras en las que pueden introducirse dispositivos de sujeción o posicionamiento de piezas (Fig. 16.14).

Antes de realizar cualquier medición es conveniente verificar que la pantalla que puede girar continuamente en cualquier dirección haya sido fijada en la posición de referencia (Fig. 16.15).

Sobre la pantalla hay dos líneas perpendiculares entre sí que después de verificar la posición de cero una queda en posición horizontal y otra en vertical. Estas líneas pueden ser delgadas y continuas o delgadas interrumpi-

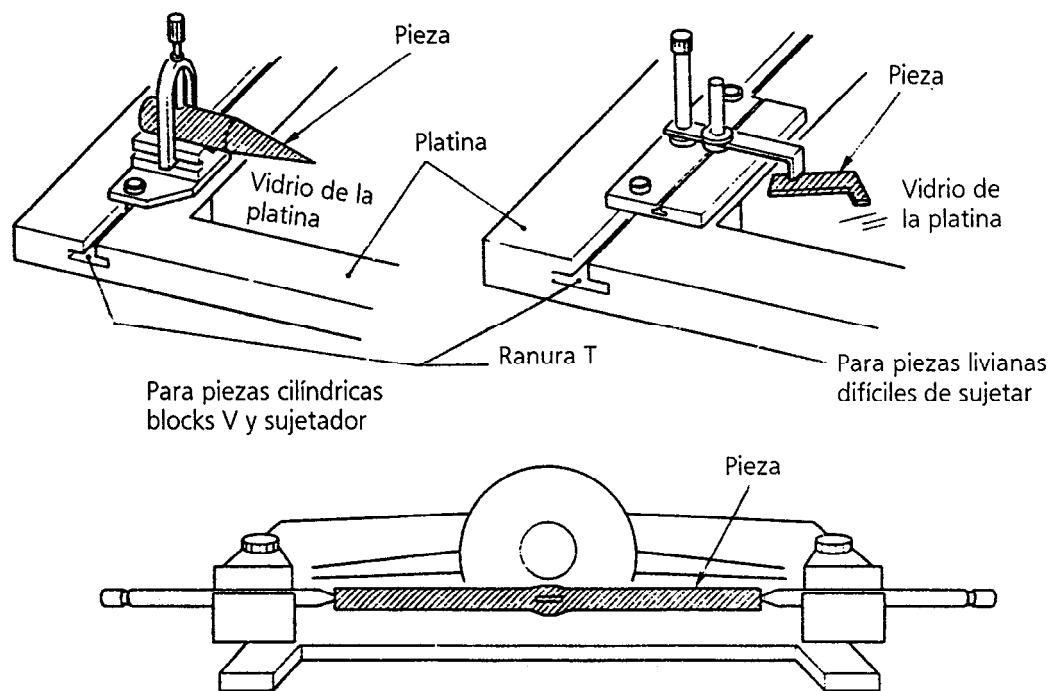


Figura 16.14.

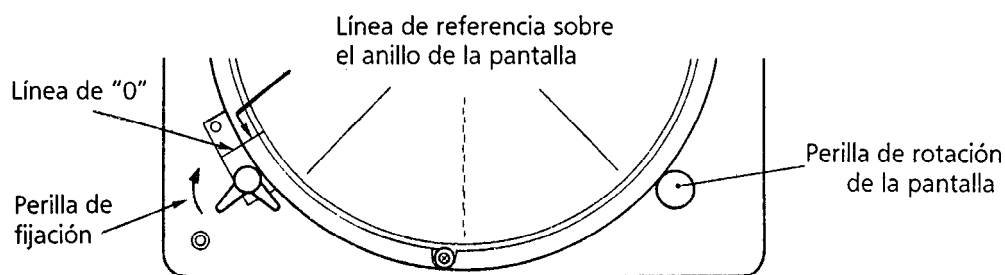


Figura 16.15.

das alternadas (Fig. 16.16). Estas líneas servirán como referencia para efectuar mediciones. Una vez enfocada la imagen se alinea algún lado de la pieza con alguna de las líneas citadas, auxiliándose del desplazamiento que es posible lograr en dos direcciones —ejes X y Y— mutuamente perpendiculares de la platina.

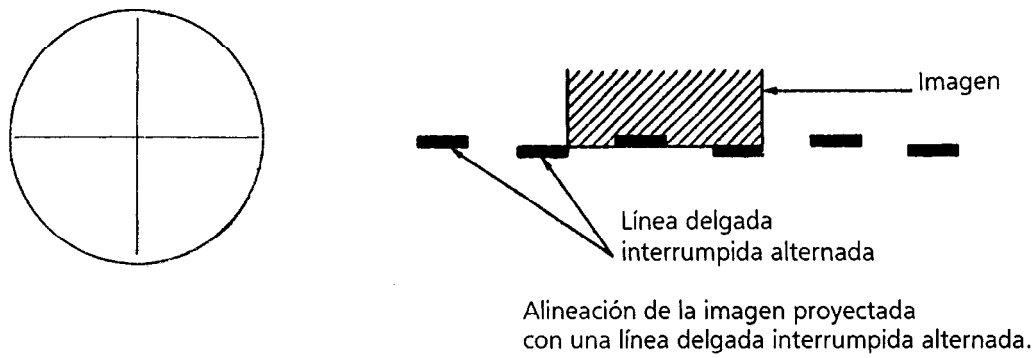


Figura 16.16.

El movimiento de la platina se controla mediante manivela o cabezas micrométricas (véase Fig. 16.17).

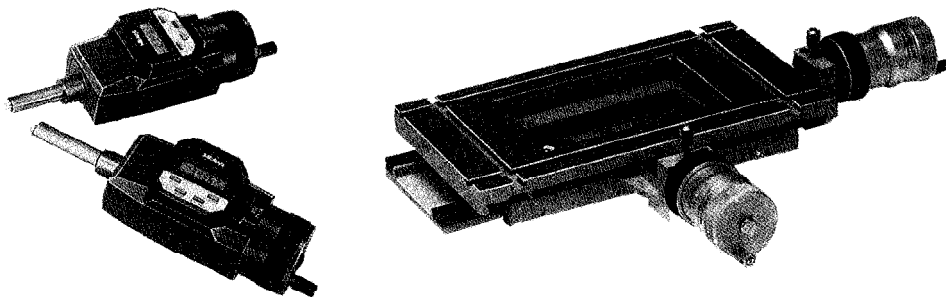


Figura 16.17.

Cuando la pieza esté como en la figura 16.18, ponga cero en la pantalla de la cabeza micrométrica electrónica, en seguida mueva esta última hasta que el otro borde de la pieza esté alineado con la misma línea de referencia (Fig. 16.19) y lea entonces el ancho de la pieza en la pantalla de la cabeza micrométrica.

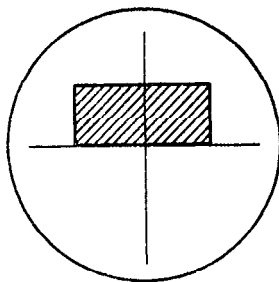


Figura 16.18

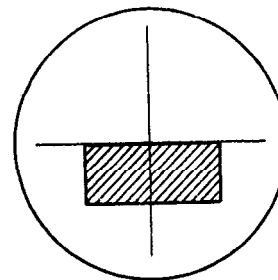


Figura 16.19.



Con una cabeza micrométrica convencional tome la lectura en la posición inicial, luego en la posición final y encuentre la diferencia entre ambas. El ancho de la pieza en este tipo de cabeza micrométrica se determina tomando la lectura en la misma forma que con un micrómetro convencional. Para determinar la longitud de la pieza se procedería de la misma forma, utilizando esta vez la línea de referencia vertical y la otra cabeza micrométrica o manivela.

En los comparadores de iluminación horizontal sólo se cuenta con una cabeza micrométrica o manivela, por lo que es necesario utilizar un indicador de carátula o electrodigital convenientemente colocado para efectuar mediciones en la otra dirección (Fig. 16.20).

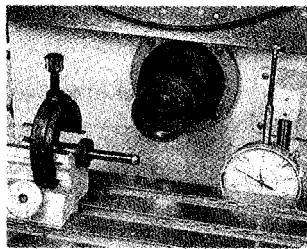


Figura 16.20.

La utilización de cabezas micrométricas limita el desplazamiento máximo a 50 mm. Por esta razón, para medir piezas que requieran un desplazamiento mayor al que permite la platina será necesario insertar un bloque patrón de una dimensión adecuada entre el tope del husillo de la cabeza micrométrica y el correspondiente tope de la platina (Fig. 16.21).

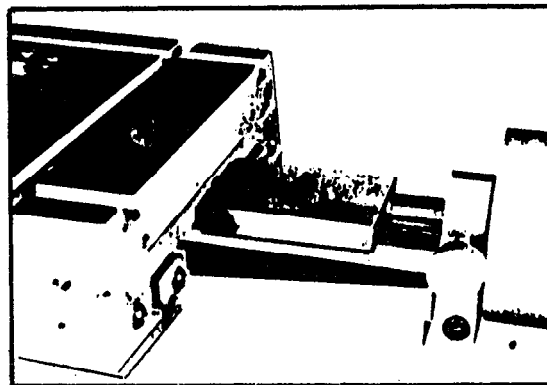


Figura 16.21.

Los dos últimos problemas se evitan equipando el comparador con escalas lineales y no con cabezas micrométricas, así se obtendrán las lecturas en un contador separado (Fig. 16.23) o integrado al cuerpo del comparador (Fig. 16.2). En este caso, girando la manivela se tiene avance fino y oprimiendo una palanca se obtiene avance rápido, ambos dentro de todo el recorrido que permite la platina.

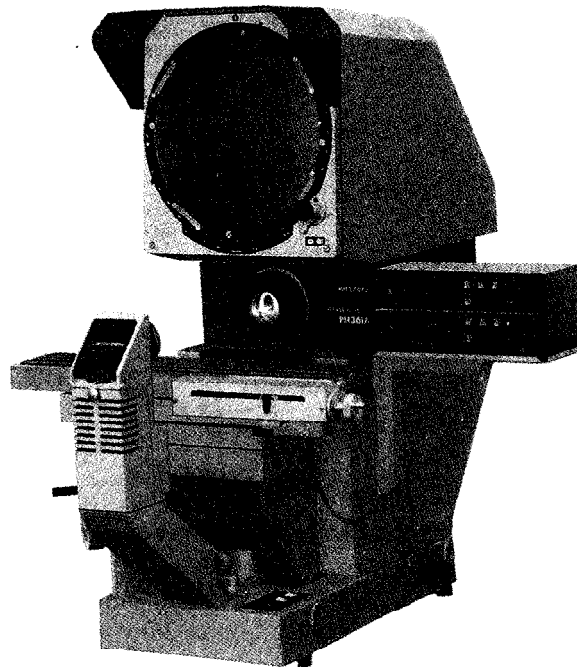


Figura 16.22.

## MEDICIÓN ANGULAR

Para realizar mediciones angulares utilice el movimiento de la platina de modo que uno de los bordes de la pieza quede alineado con una de las líneas de

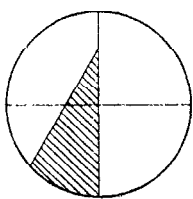


Figura 16.23.

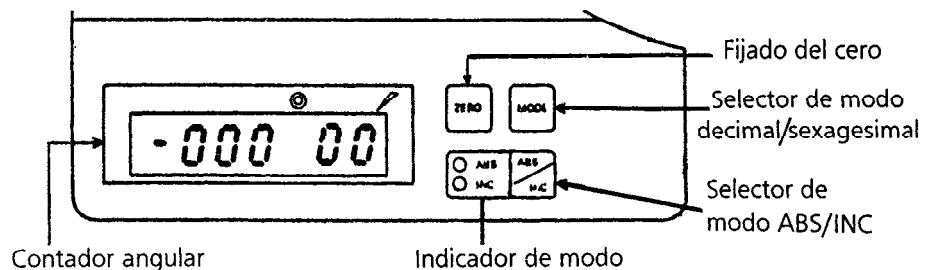


Figura 16.24.

referencia de la pantalla, coloque el contador angular al modo ABS (modo de medición absoluto) y establezca un dato sobre el borde poniendo el contador en cero (Figs. 16.23 y 16.24).

Mueva la platina en la dirección X, como se muestra en la figura 25, y gire la pantalla para alinear el otro borde del ángulo con la misma línea de referencia utilizada en el paso anterior. El ángulo de la pieza lo muestra el contador angular (Figs. 16.26 y 16.27).

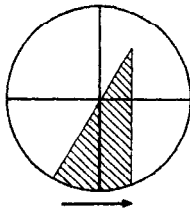


Figura 16.25.

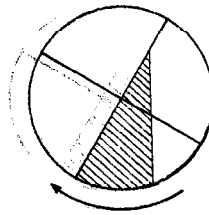


Figura 16.26.

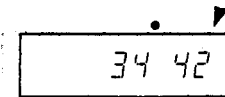


Figura 16.27.

Para efectuar mediciones con la pantalla goniométrica cerciórese de que esté ajustada a cero, coloque la pieza como muestra la figura 16.23 y girando la pantalla junto con el movimiento adecuado de la platina alinee el otro borde con la línea de referencia (Fig. 16.26) y tome la lectura de la pantalla, si ésta no está ajustada en cero será necesario tomar las lecturas inicial y final, ya que el ángulo medido es la diferencia entre ellas. Es importante determinar en qué dirección giramos la pantalla goniométrica (Fig. 16.28).

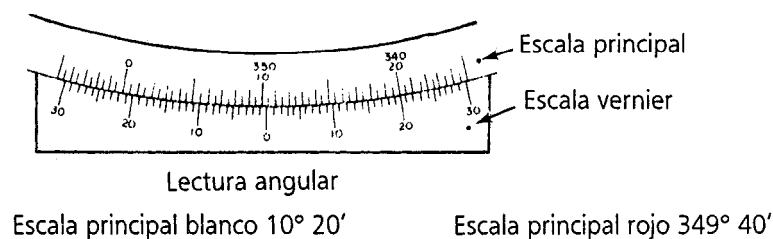


Figura 16.28.

Si la platina cuenta con mesa giratoria (Fig. 16.29), la medición angular también puede hacerse utilizando su escala goniométrica; sin embargo, en términos de eficiencia se recomienda utilizar el giro de la pantalla.



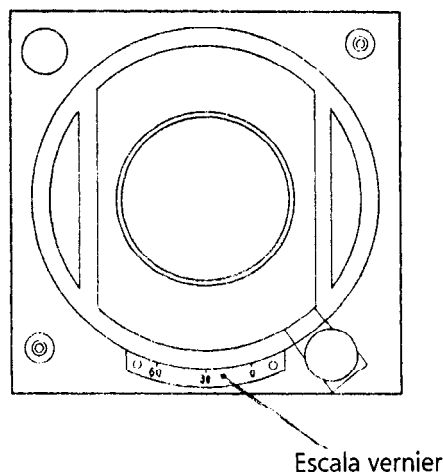


Figura 16.29.

### USO DE PLANTILLAS

En la medición de ciertos perfiles con frecuencia resulta útil usar plantillas transparentes, las cuales se colocan sobre la pantalla y reducen la labor de medición a una simple comparación de la imagen con las líneas de las plantillas. Algunas geometrías comunes son líneas radiales, círculos concéntricos, líneas horizontales, roscas métricas o en pulgadas, engranes de evolvente entre otros (Fig. 16.30).

Hay disponibles hojas de material adecuado en blanco para la elaboración de plantillas especiales de acuerdo con las necesidades particulares que sea necesario resolver, un ejemplo lo muestra la figura 16.31. Cuando la plantilla está colocada sobre la pantalla se determina, moviendo la platina, si es posible acomodar la imagen dentro de la zona de tolerancia establecida.

En las figuras 16.2, 16.3 y 16.22 es posible distinguir cuatro piezas alargadas, distribuidas uniformemente sobre el arillo de la pantalla, las cuales pueden girar sobre uno de sus extremos de modo que el otro quede sobre la pantalla y sirven para mantener en posición las plantillas que se utilicen.

### LENTE DE PROYECCIÓN

El lente de proyección del comparador (Fig. 16.9) debe seleccionarse con base en los tamaños de la pieza y de pantalla, mayor tamaño de pieza o mayor ampliación requerirá una pantalla mayor. Los valores comunes de ampliación son 5, 10, 20, 50 y 100x los cuales vienen marcados sobre los lentes de proyección para identificarlos con facilidad. Las formas más comunes de montar el lente al cuerpo del comparador es mediante rosca o presión y giro. Además de los lentes de ampliación fija, existen lentes zoom que permiten una variación continua

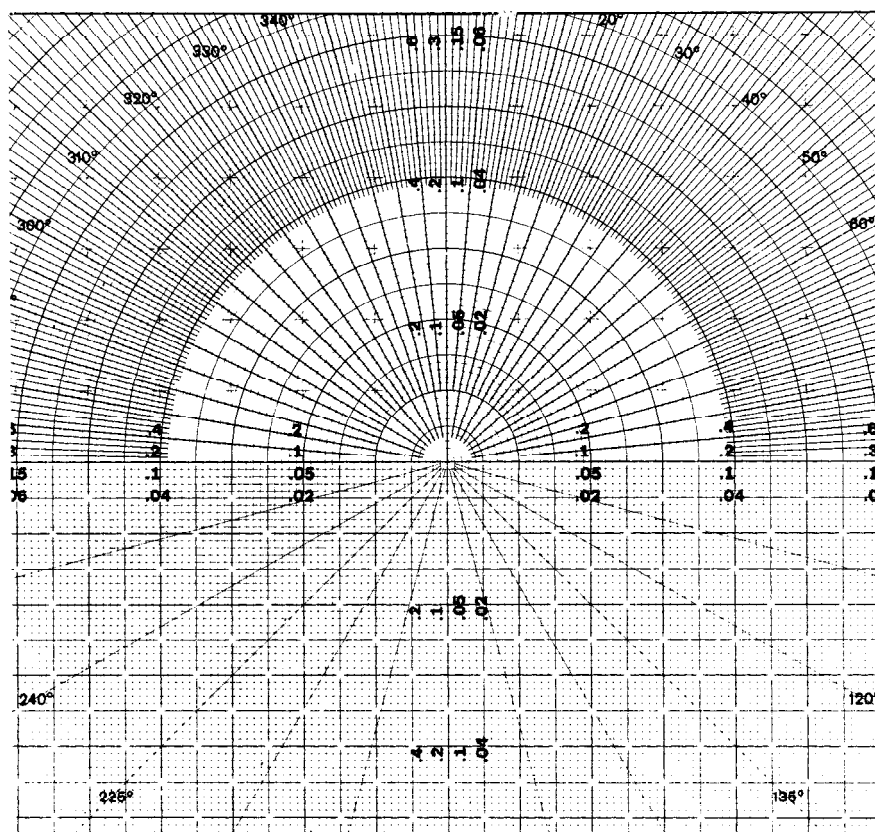


Figura 16.30.

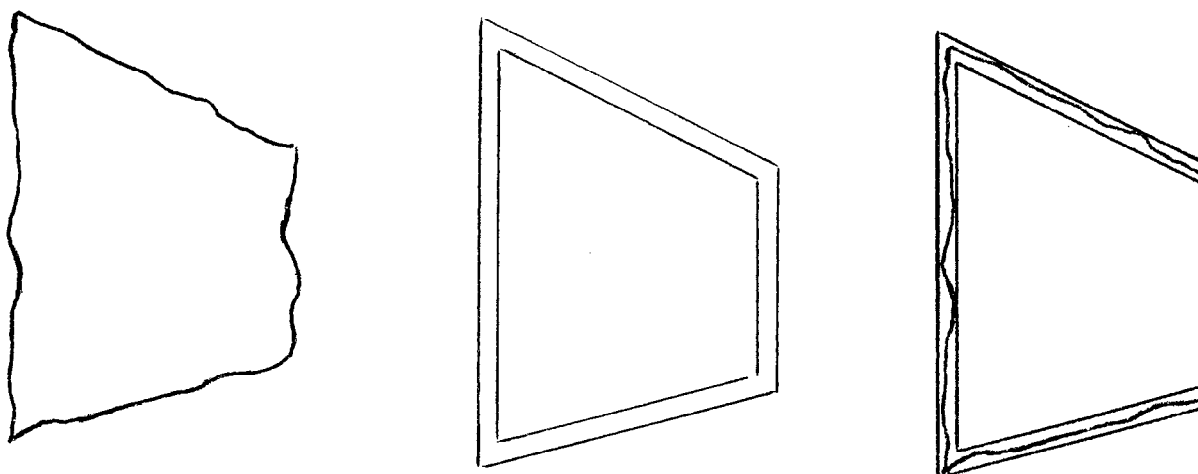


Figura 16.31.

de la amplificación y el bloque de ésta en los valores antes mencionados. Los lentes de proyección pueden estar montados sobre un revólver para facilitar el cambio de amplificación cuando sea requerido.

Los diámetros comunes de pantallas son 250, 300 y 350 mm, pero existen mayores, como el modelo que muestra la figura 16.32, cuyo diámetro es de 600 mm.

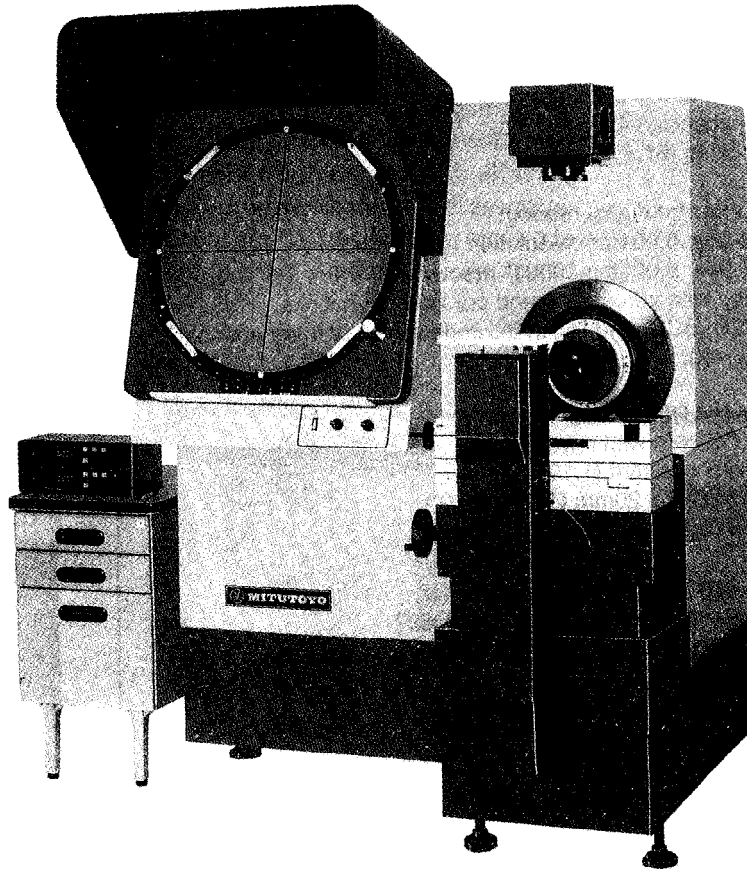


Figura 16.32.

## DETECTOR DE BORDE

En la medición, como ya se mencionó, se utilizan las líneas de referencia sobre la pantalla para alinear los bordes de las piezas por medir; por tanto, la exactitud de la medición dependerá de la agudeza visual y el cuidado del inspector para efectuar la alineación. Por esta razón se han desarrollado detectores electrónicos de borde que permiten efectuar esta labor de una manera más confiable. En estos detectores se puede ajustar la sensibilidad deseada, y van montados en un soporte transparente que se coloca sobre la pantalla (Fig. 16.33).

## MICROPROCESADOR

En la medición de formas complejas puede usarse un microprocesador capaz de procesar datos en dos dimensiones (Fig. 16.34), que cuente con funciones para mediciones básicas y de alineamiento y que ofrezca la posibilidad de programar rutinas de inspección para las piezas deseadas, reduciendo así el tiempo necesario para ello. Los microprocesadores también cuentan con una impresora, por lo que proporcionan registros impresos de las mediciones realizadas.

Por ejemplo, en la pieza mostrada en la figura 16.35 podría utilizarse el modo de medición de círculo. Para obtener el valor del radio  $R1$  basta colocar puntos, como los que señala la figura 16.35, en el cruce de las líneas de referencia de la pantalla del comparador óptico y oprimir la tecla LOAD del microprocesador, entonces la información que aparece en la pantalla de éste guiará al operador en el trabajo por realizar, ya que le indicará, por ejemplo, cuántos puntos faltan por considerar. Asimismo, para determinar el ángulo tendrían que colocarse dos

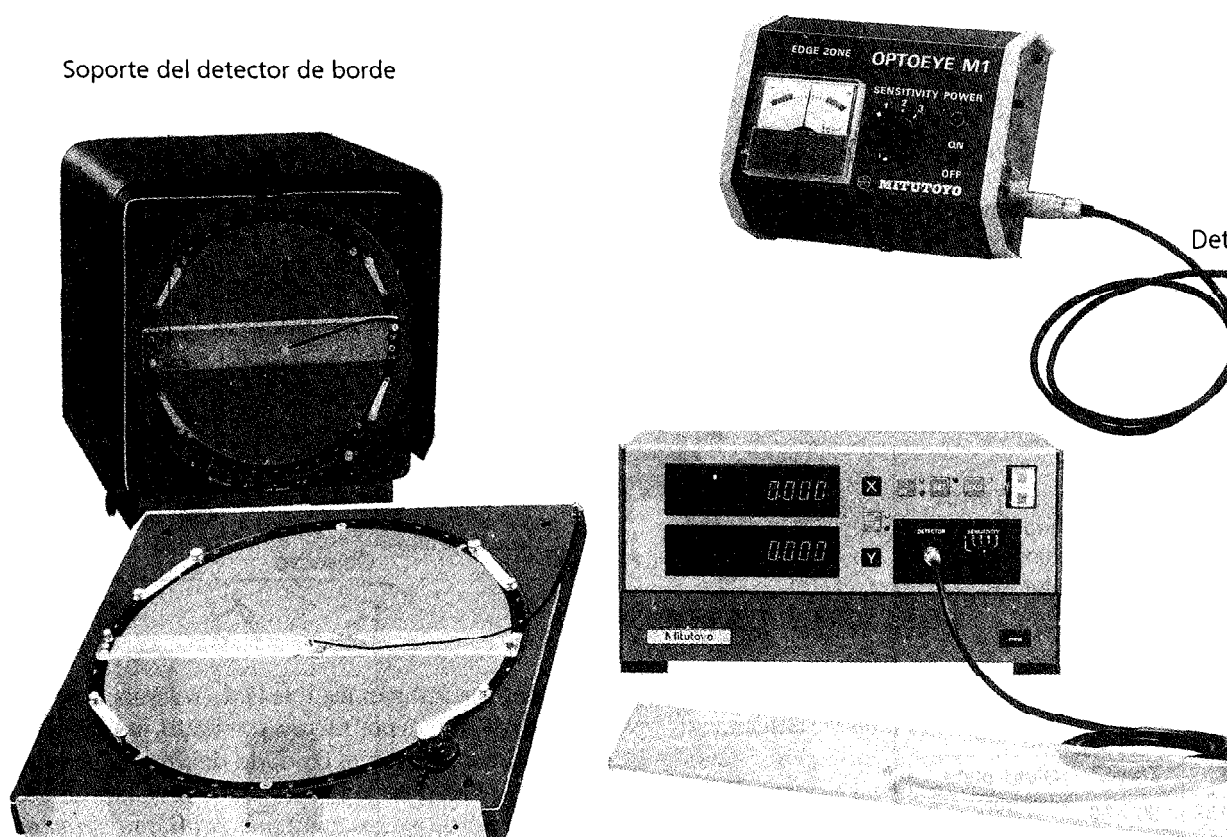


Figura 16.33.

puntos correspondientes a un borde de la pieza en el cruce de las líneas de referencia y después otros dos que correspondan al segundo borde.

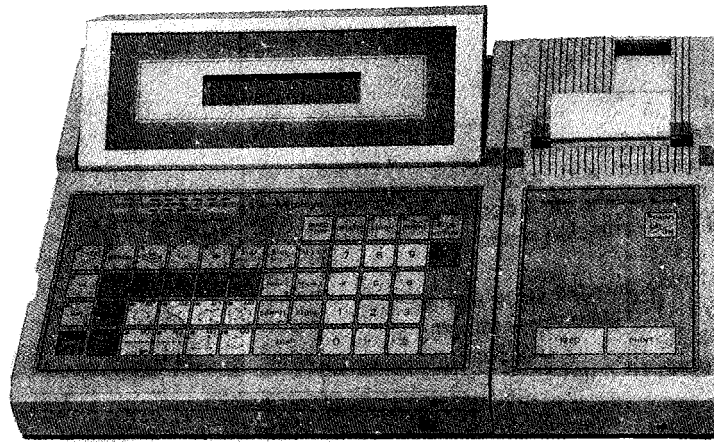


Figura 16.34.

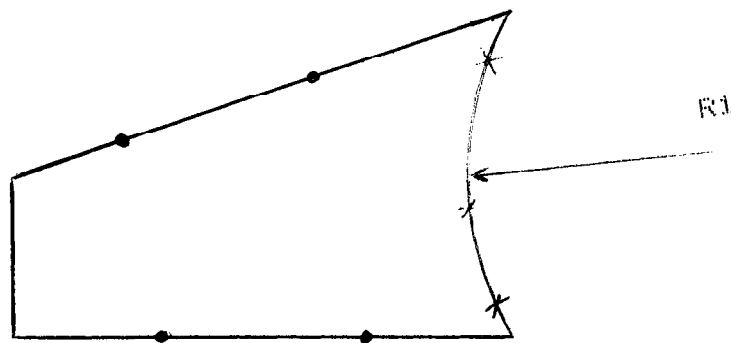


Figura 16.35.

La automatización de la inspección ha avanzado y se han construido modelos de comparador como el que ilustra la figura 16.36. Este comparador ofrece el movimiento motorizado de la platina en los ejes X y Y y está controlado por una computadora personal para la medición automática en dos dimensiones. Esto es posible mediante un detector de borde interconstruido que permite efectuar mediciones de gran exactitud del contorno de una pieza y transmite los datos a la computadora.



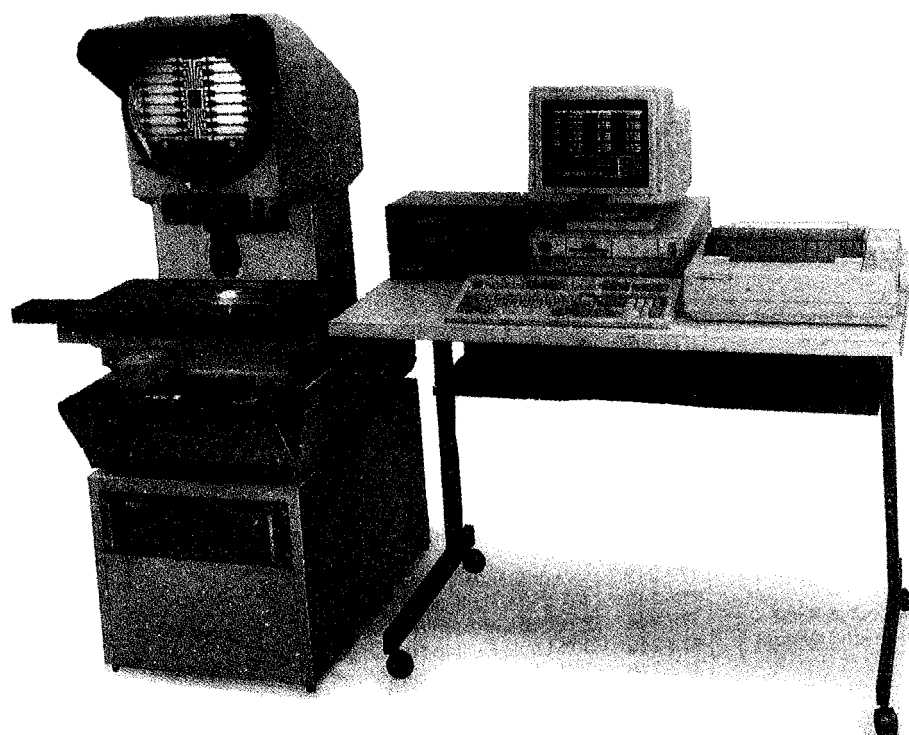


Figura 16.36.

# Metrología superficial. Rugosidad

## INTRODUCCIÓN

Aunque durante mucho tiempo la medición de la rugosidad no fue considerada como una rama de la metrología, en la actualidad es un requerimiento importante debido al reconocimiento creciente de la importancia y necesidad de esta medición.

Una superficie perfecta es una abstracción matemática ya que cualquier superficie real por perfecta que parezca presentará irregularidades que se originan durante el proceso de fabricación.

Las irregularidades mayores (macrogeométricas) son errores de forma asociados con la variación en tamaño de una pieza, paralelismo entre superficies y planitud de una superficie o conicidad, redondez y cilindridad, y que pueden medirse con instrumentos convencionales.

Las irregularidades menores (microgeométricas) son la ondulación y la rugosidad. La primera pueden ocasionarla la flexión de la pieza durante el maquinado; falta de homogeneidad del material, liberación de esfuerzos residuales, deformaciones por tratamiento térmico, vibraciones, etcétera; la segunda la provoca el elemento utilizado para realizar el maquinado, por ejemplo: la herramienta de corte o la piedra de rectificado.

Los errores superficiales mencionados se presentan simultáneamente sobre una superficie, lo que dificulta la medición individual de cada uno de ellos.

La figura 17.1, tomada del apéndice B de la norma ANSI/ASME B46.1-1985, muestra los rangos típicos de valores de rugosidad superficial que pueden obtenerse mediante métodos comunes de producción.

El costo de una superficie maquinada crece cuando se desea un mejor acabado superficial (Fig. 17.2), razón por la cual el diseñador deberá indicar claramente cuál es el valor deseado, ya que no siempre un buen acabado superficial redundará en un mejor funcionamiento de la pieza, como sucede cuando desea lubricación eficiente y por tanto una capa de aceite debe mantenerse sobre la superficie.

En el pasado el mejor método práctico para decidir si un acabado superficial cumplía con los requerimientos era compararlo visualmente y mediante el tacto contra muestras con diferentes acabados superficiales (Fig. 17.3). Este método no debe confundirse con los patrones de rugosidad que actualmente se usan en la calibración de rugosímetros.

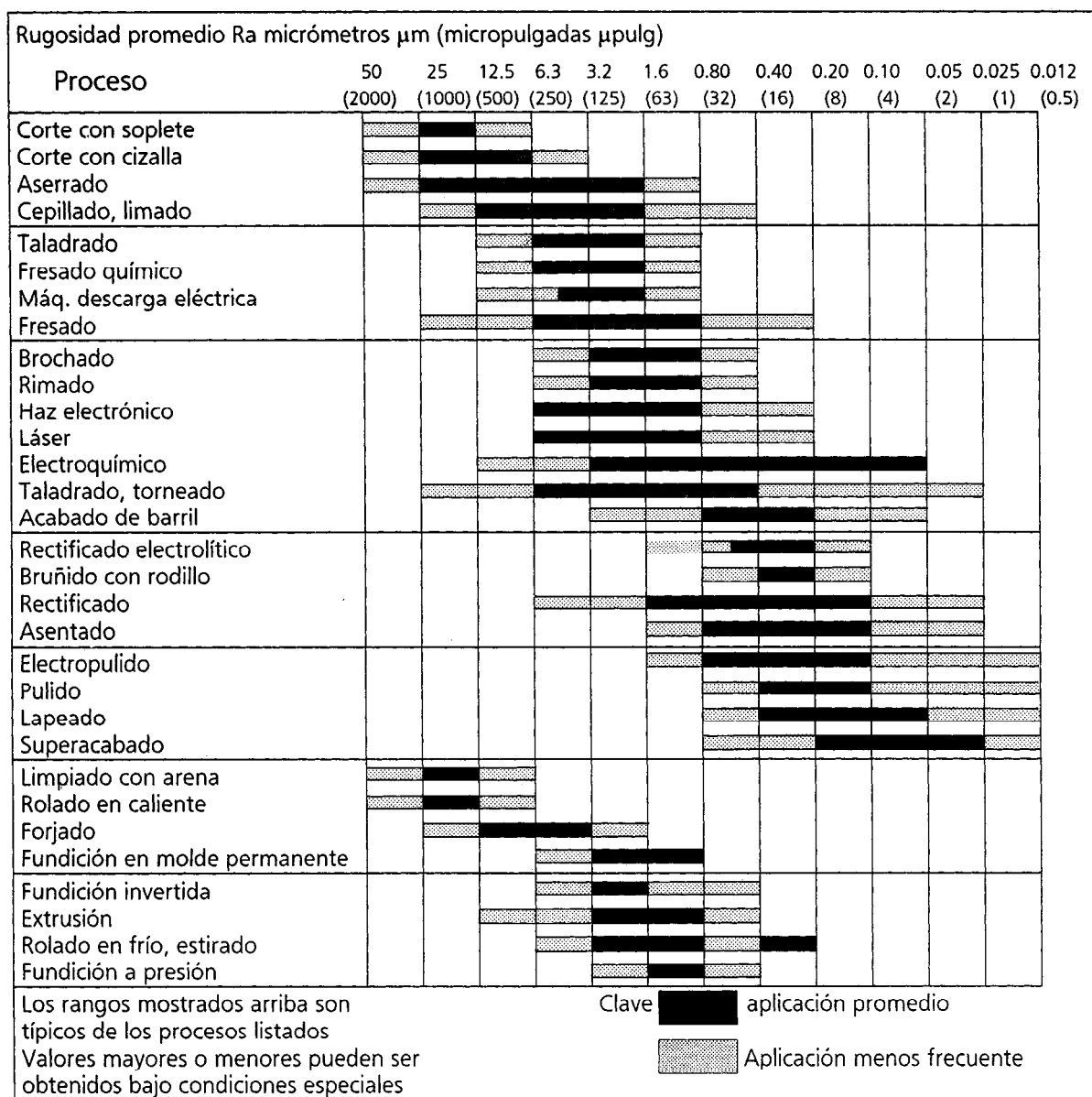
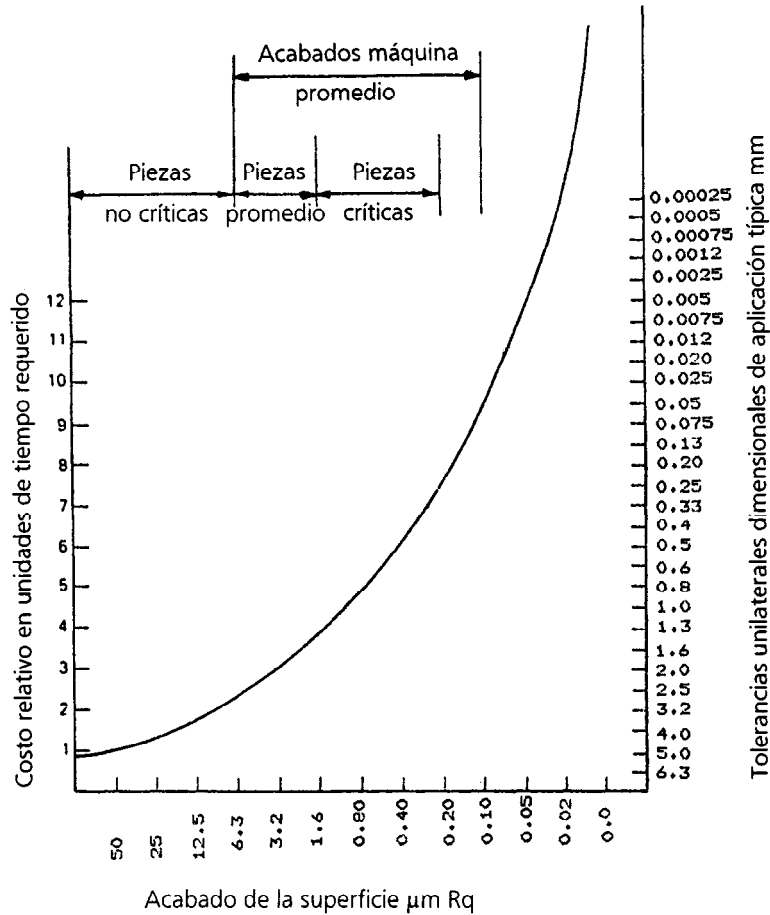


Figura 17.1. Tomada de la norma ANSI/ASME B 46.1-1985.

La desventaja de la comparación visual y táctil es que la decisión es subjetiva y difícilmente dos personas estarán de acuerdo en qué superficies son aceptables y cuáles no, sobre todo si uno es comprador y el otro proveedor.

Afortunadamente, el avance de la industria electrónica durante el último cuarto de siglo ha hecho posible contar con los rugosímetros. Estos instrumentos son fáciles de operar, portátiles, económicos, inmunes a las condiciones ambientales adversas del taller y proporcionan con rapidez los datos, incluso de registro e impresión de éstos.



**Figura 17.2.** Costo relativo contra acabado de la superficie

El método de medición de la rugosidad más popular en la actualidad es el que se basa en un palpador de diamante con un radio en la punta de 2, 5 o 10  $\mu\text{m}$  que recorre una pequeña longitud, denominada longitud de muestreo ( $l_e$ ), sobre la superficie analizada. Los valores normalizados para esta longitud de muestreo son 0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8 y 25 mm.

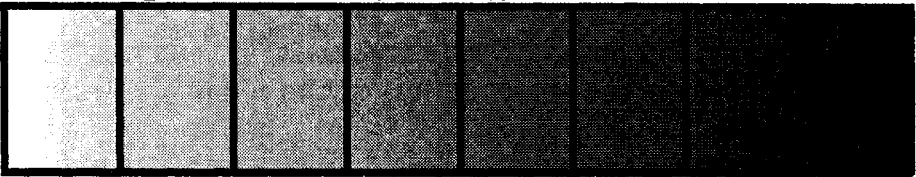



Ra	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	$\mu\text{m}$
CLA	1	2	4	8	16	32	63	125	$\mu\text{m}$
RUBERT & CO. LTD ENGLAND									
CLASE	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	
GRUPO									

Figura 17.3.

Aunque la intención es medir la rugosidad de toda la superficie, basta con revisar una pequeña longitud, ya que afortunadamente no hay una variación excesiva en una superficie del mismo material y maquinada en su totalidad por la misma herramienta, de modo que cualquier otra medición paralela realizada a alguna distancia de la primera dará un valor muy cercano al inicial; además, si se obtuviera en ambos casos un registro amplificado del perfil se observarían variaciones únicamente de detalle.

En la práctica se utiliza la longitud de evaluación, la cual puede ser una, tres o cinco veces la longitud de muestreo; este último valor es el más común. La longitud de recorrido será un poco mayor que la de evaluación, ya que si el palpador está en reposo se requiere recorrer una pequeña longitud antes de alcanzar la velocidad normal de recorrido y después realizar un recorrido adicional para que el palpador alcance nuevamente el reposo. Una vez realizada la evaluación, el palpador regresa con una velocidad mayor al punto de origen, preparándose así para una nueva medición (Fig. 17.4).

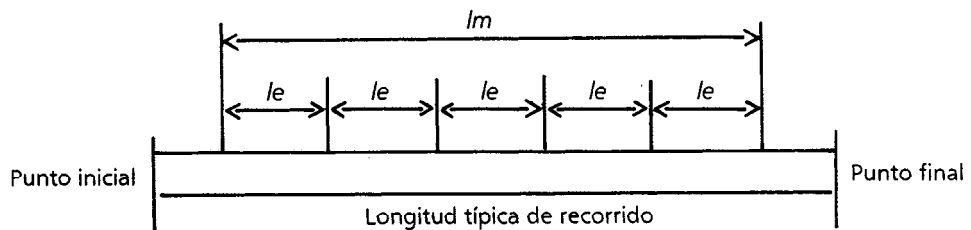
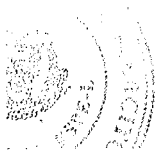


Figura 17.4.

La figura 17.5, tomada de la norma ANSI/ASME B 46.1-1985, ilustra la superficie de una pieza en la que se observan marcas unidireccionales originadas



por el proceso de maquinado utilizado y cierta ondulación de la superficie; si amplificamos esta superficie observaremos con mayor claridad la ondulación, pero veremos otras irregularidades más pequeñas superimpuestas. Con otra amplificación obtenemos la rugosidad; a las partes altas se les denomina picos y

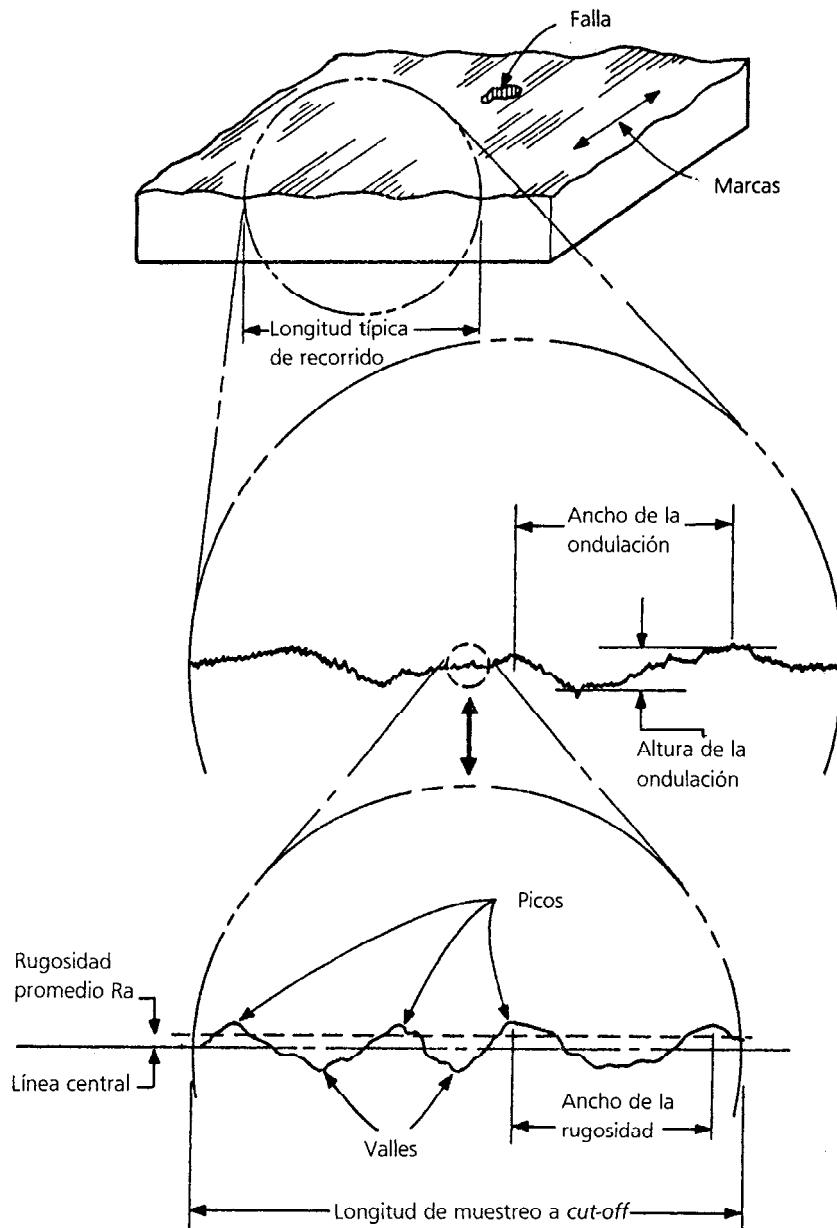


Figura 17.5. Tomada de la norma ANSI/ASME B46.1-1985.

a las bajas valles. Esta forma de examinar el acabado superficial se denomina método de perfil.

### LAS CURVAS P y R

Existen dos tipos de curvas importantes cuando se evalúa la rugosidad por el método del perfil: la P y la R. La curva P (perfil sin filtrar) es un perfil resultante de la intersección de una superficie con un plano perpendicular a la superficie. A menos que se especifique otra circunstancia, la intersección debe ser en la dirección en la cual el perfil representa el máximo valor de la rugosidad de la superficie; por lo general es en la dirección perpendicular a las marcas del maquinado sobre la superficie (Fig. 17.6). La curva R (perfil de rugosidad) es un perfil que se obtiene de la curva P removiendo los componentes de ondulación de baja frecuencia, cuyas longitudes de onda son mayores que un límite especificado de la longitud de onda llamado valor de *cut-off* ( $\lambda_C$ ) (Fig. 17.7).

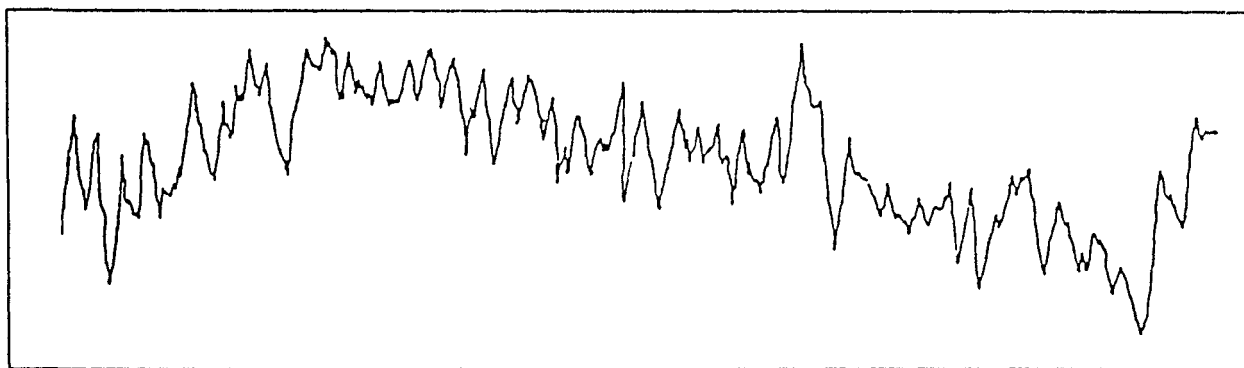


Figura 17.6.

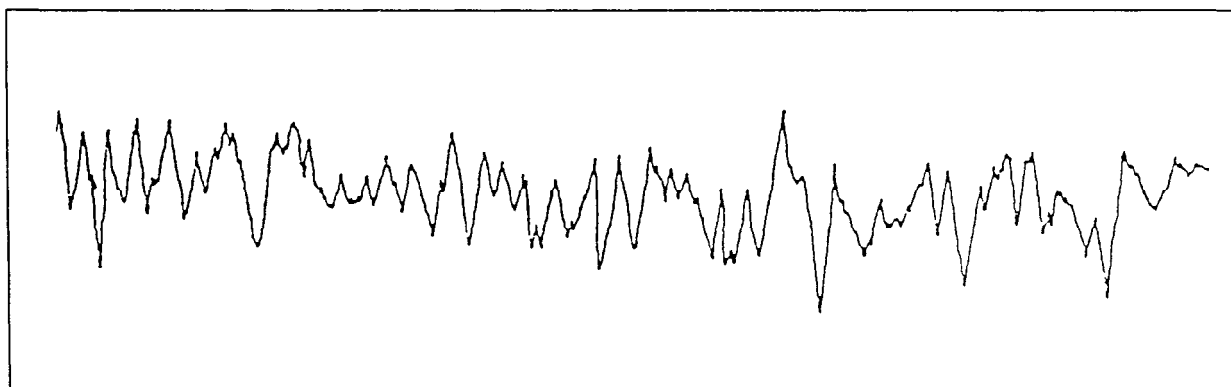


Figura 17.7.

En los rugosímetros la longitud de muestreo se varía por medio de filtros que modifican la frecuencia de respuesta del amplificador y, por lo tanto, la forma de onda del perfil para dar lo que se denomina valor de *cut-off*.

La longitud de muestreo es una longitud física de la superficie. El *cut-off* es el medio a través del cual el perfil resultante de la forma de onda simula la restricción de la evaluación a la longitud de muestreo. Por conveniencia, el *cut-off* es citado como la longitud de muestreo equivalente.

Una línea de referencia con la forma del perfil geométrico y que divide al perfil de modo que, dentro de la longitud de muestreo, la suma de los cuadrados de los alejamientos del perfil desde esta línea es un mínimo, se denomina línea media (Fig. 17.8).

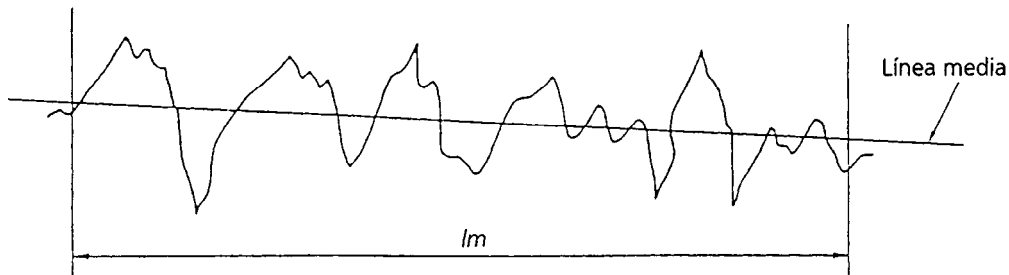


Figura 17.8.

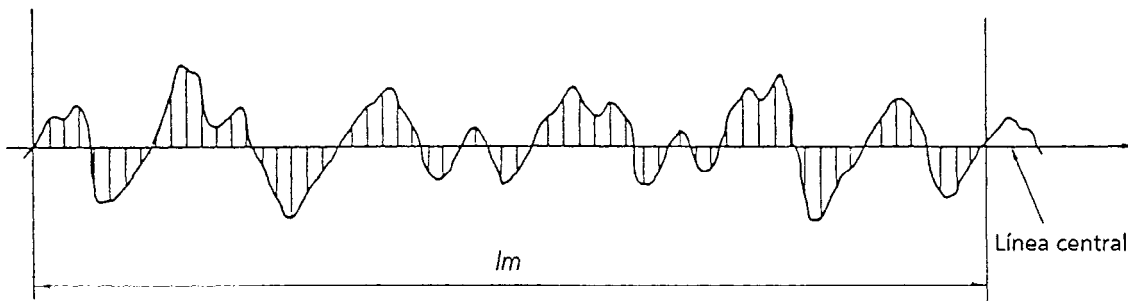


Figura 17.9.



Las medidas de la rugosidad por el método de perfil están basadas en una línea central que es paralela a la línea medida del perfil a través de la longitud de evaluación, de modo que dentro de esta longitud la suma de las áreas limitadas por la línea central y el perfil es igual en ambos lados (Fig. 17.9).

### DEFINICIÓN DE $R_a$

Dentro de la longitud de evaluación ( $l_m$ ), la media aritmética de los valores absolutos de los alejamientos del perfil desde la línea central se representa mediante la fórmula:

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |f(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f(x_i)|$$

Donde el perfil es definido como  $Z = f(x)$  con el eje X para la línea media y el eje Z en la dirección de la amplificación vertical (Fig. 17.10).

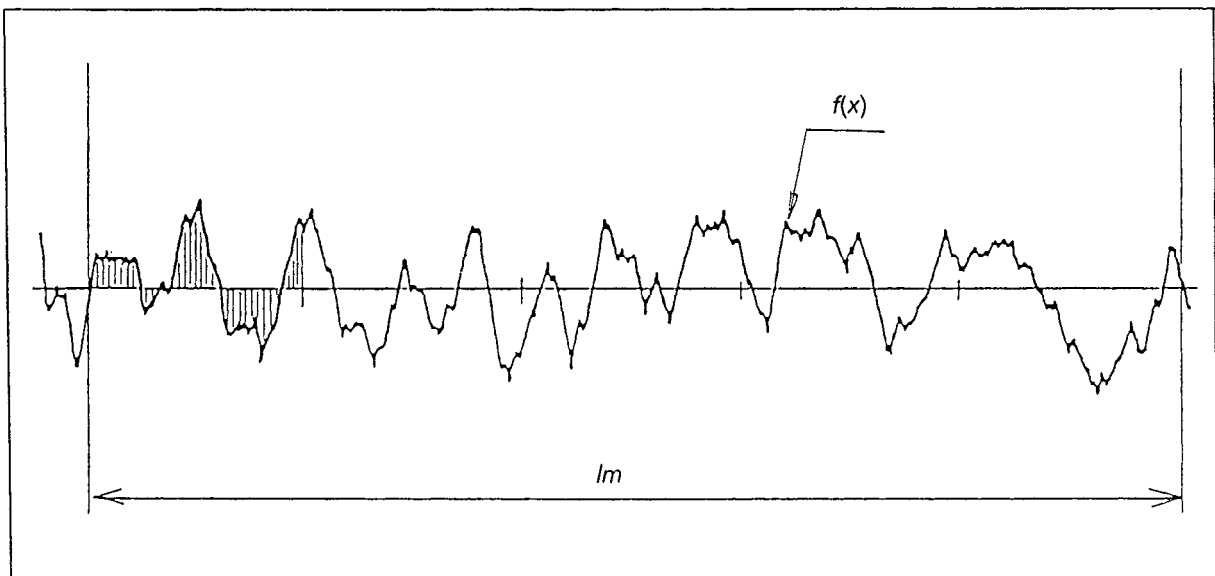


Figura 17.10.

La definición de  $R_a$  equivale, en términos prácticos, a la altura de un rectángulo de longitud  $l_m$  cuya área es igual, dentro de la longitud de evaluación, a la suma de las áreas delimitadas por el perfil de rugosidad y la línea central. Esto se representa mediante el procedimiento mostrado en la figura 17.11; así,  $R_a$  es rugosidad promedio (también denominada CLA por promedio de la línea central, aunque en el pasado también se utilizó el término AA por promedio aritmético.)

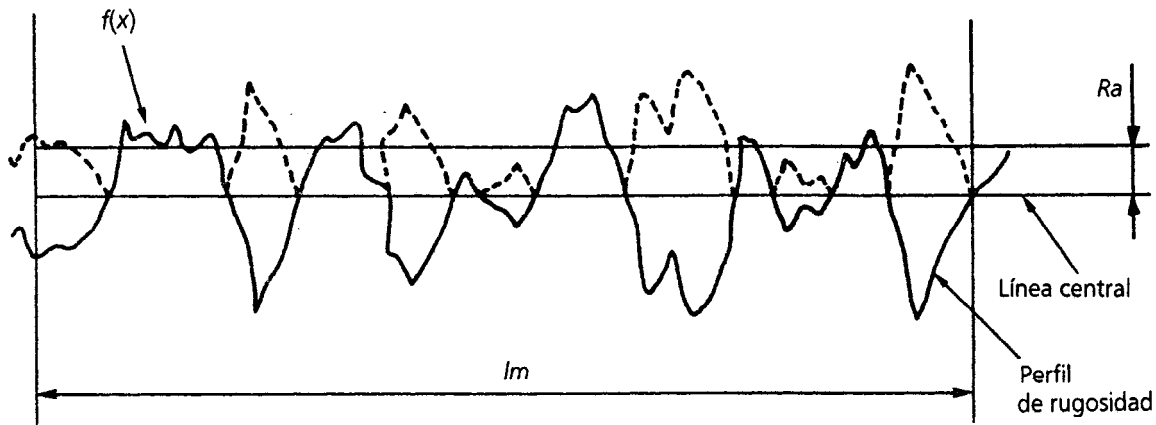


Figura 17.11.

Tabla 17.1. Parámetros usados en diferentes países

Países	1	2	3	4	5	6	7	8	Norma
parámetro	División media aritmética del perfil	Máxima altura del perfil	Diez puntos de altura de las irregularidades	Raíz cuadrada media de la desviación del perfil	Máxima altura del pico del perfil	Proporción del comportamiento de la longitud del perfil	Espaciamiento medio de los picos locales del perfil	Espaciamiento medio de las irregularidades del perfil	
Japón	$R_a$	$R_{max}$	$R_z$						JIS B 0601-1982
U.S.A.	$R_a^*$								ANSI B 46.1-1985
Reino Unido	$R_a$		$R_z$						BS 1134-1972
Italia	$R_a$	$R_{max}$ ( $R_{tm}$ )	$R_z$	RMS		t	$S_m$		UNI 3963 Part 2-1978
India	$R_a$	$R_{max}$	$R_z$	$R_q$					IS 3073-1967
Australia	$R_a$								AS 1965-1977
Noruega	$R_a$								NEN 3631-1977, 3632-1974
Canadá	$R_a^*$								CSA B 95-1962
Suecia	$R_a^*$	$R_{max}$	$R_z$			$t_p$	S		SMS 671-1975, 673-1975
Rusia	$R_a$	$R_{max}$	$R_z$			$t_p$	S	$S_m$	GOST 2789-73-1974
Alemania	$R_a$	$R_t$ ( $R_{max}$ )	$R_z$	$R_p$		$t_p$	$A_r$		DIN 4762 Blatt 1-1960, 4767-1970, 4768 Teil 1-1978, 4768 Blatt 1-1978
Francia	$R_a$	$R_t$ ( $R_{max}$ )		$R_p$		( $T_R$ ) <sub>c</sub>	$A_R$		NF 05-15-1972
Finlandia	$R_a$	$R_{max}$	$R_z$						SFS 2038-1969
Polonia	$R_a$	$R_{max}$	$R_z$			$N_L$			PN-73/M-04250-1974, /M-04251-1974
ISO	$R_a$	$R_y$	$R_z$			$t_p$	S	$S_m$	R 468-1966

\* Antes indicado como "AA" o "CLA".

$R_a$  es el único parámetro de este tipo definido en las normas de Estados Unidos, Canadá, Países Bajos y Suiza. También está bien definido en las normas de todos los países industrializados y en las normas internacionales ISO, por lo tanto es el más ampliamente utilizado; sin embargo todas estas normas definen algún o algunos parámetros adicionales (tabla 17.1).

### DEFINICIÓN DE $R_z$

El promedio de las alturas de pico a valle se denomina  $R_z$ , y las normas JIS/ISO lo definen, con base en la curva  $P$ , como la diferencia entre el promedio de las alturas de los cinco picos más altos y la altura promedio de los cinco valles más profundos. Los picos y valles se miden en la dirección de la amplificación vertical, dentro de la longitud de evaluación ( $l_m$ ), desde una línea paralela a la línea media y que no intersecta al perfil (Fig. 17.12).

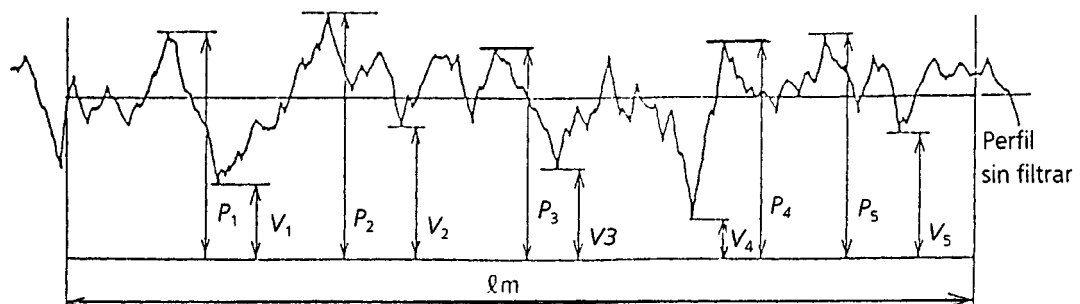


Figura 17.12.

Se aplican las siguientes definiciones.

Perfil de picos: proyección de una porción de perfil conectando dos puntos adyacentes de la intersección del perfil con la línea media.

Pico más alto: pico más alto de un perfil de picos.

Perfil de valles: porción descendente del perfil conectando dos puntos adyacentes de la intersección del perfil con la línea media.

Valle más profundo: punto más profundo de un perfil de valles.

$$R_z \text{ (JIS · ISO)} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5)}{5}$$

El promedio de alturas de pico a valle, denominado  $R_z$ , la norma DIN lo define, con base en la curva  $R$ , como el valor promedio de la diferencia ( $Z_i$ ) entre el pico más alto y el valle más bajo de cinco sucesivas longitudes de muestreo ( $l_e$ ) dentro de la longitud de evaluación ( $l_m$ ), medida en la dirección de la línea media. La longitud de muestreo ( $l_e$ ) debe ser la misma que el valor de *cut-off* ( $\lambda_c$ ) utilizado. En general,  $l_m$  debería ser  $5 \times l_e$ , sin embargo  $l_m$  puede ser  $3 \times l_e$  cuando una longitud suficiente de recorrido no está disponible (Fig. 17.13).

$$R_z \cdot \text{DIN} = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

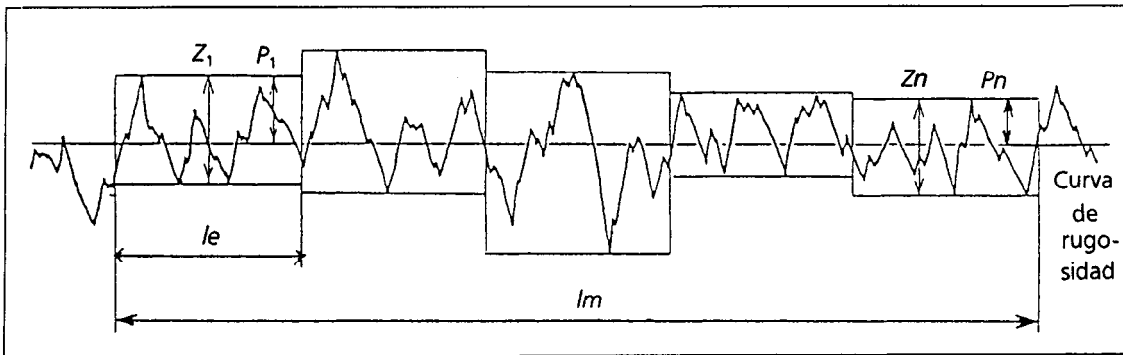


Figura 17.13.

### DEFINICIÓN DE $R_y$

La máxima altura del perfil, denominada  $R_y$ , las normas JIS/ISO la definen como la distancia entre las líneas de perfil de picos y de valles. La máxima altura del perfil, medida en la dirección de la amplificación vertical dentro de la longitud

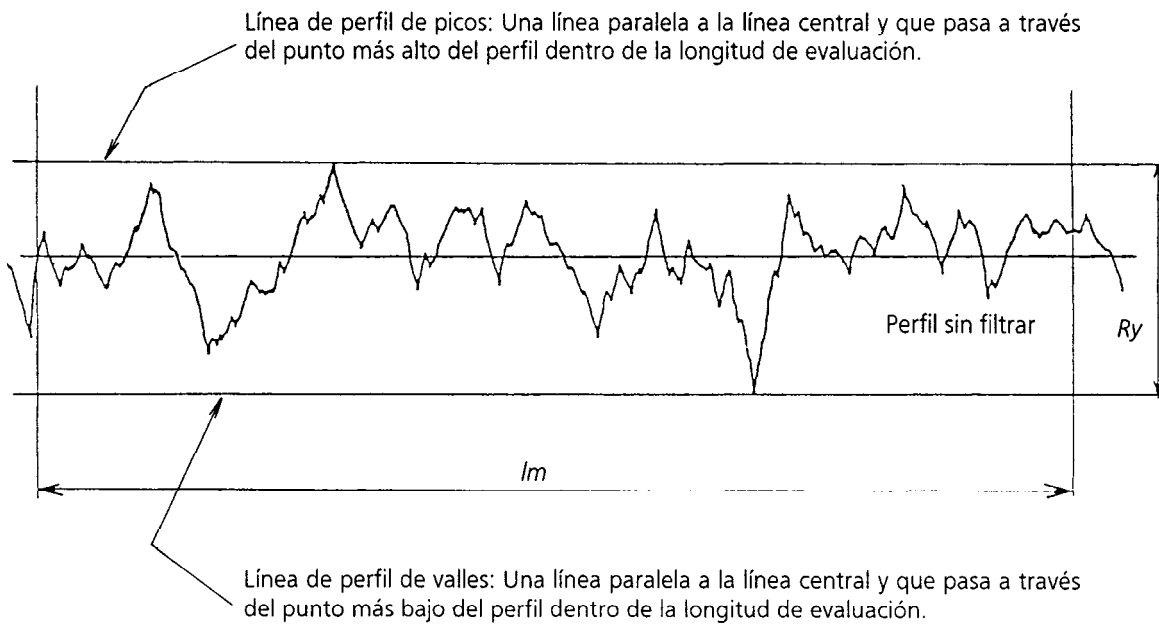


Figura 17.14.

de evaluación ( $Im$ ) de la curva  $P$  (Fig. 17.14), la norma DIN la define como el máximo valor de  $Z_i$  determinado para  $Rz$  DIN. En otros países  $Ry$  se denomina  $R_{m\acute{a}x}$ ; este método de evaluación ocupa el segundo lugar en cuanto a su adopción por diferentes países industriales, mientras que el tercer lugar lo ocupa  $Rz$ .

### SÍMBOLOS PARA LA DIRECCIÓN DE MARCADO

La tabla 17.2 muestra los símbolos de la norma ISO 1302-1978 que se utilizan para indicar en los dibujos las direcciones de las marcas producidas por el proceso de maquinado. Las tablas 17.3, 17.4 y 17.5 muestran, sinópticamente, el método de indicar el acabado superficial con dibujos tomados de la misma norma.

**Tabla 17.2.**  
Símbolos para la dirección de marcado

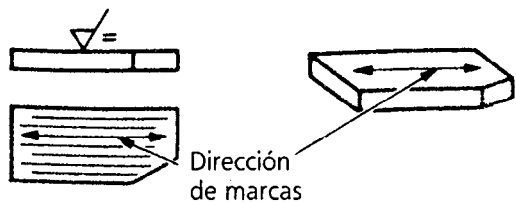
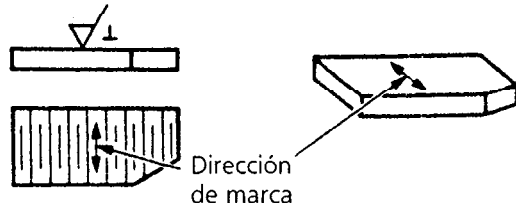
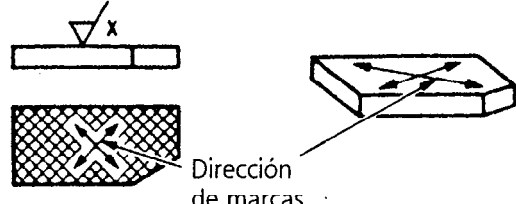
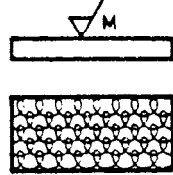
Símbolo	Interpretación
=	<p>Paralelo al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo.</p>  <p>Dirección de marcas</p>
⊥	<p>Perpendicular al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo.</p>  <p>Dirección de marca</p>
X	<p>Cruzado en dos direcciones inclinadas con relación al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo.</p>  <p>Dirección de marcas</p>
M	<p>Multidireccional</p> 

Tabla 17.2. (Continuación)

C	Aproximadamente circular en relación con el centro de la superficie en la cual se aplica el símbolo.	
R	Aproximadamente radial en relación con el centro de la superficie en la cual se aplica el símbolo.	













ISO 1302-1978

Tabla 17.3. Símbolos sin indicación adicional

Símbolo	Significado
	Símbolo básico. Puede usarse sólo cuando su significado se aplica en una nota.
	Una superficie maquinada sin indicación de cualquier otro detalle.
	Una superficie en la cual está prohibida la eliminación de material. Este símbolo también puede utilizarse en un dibujo relacionado con un proceso de producción para indicar que una superficie quedará tal como quedó después de un proceso de manufactura precedente, sin importar si tal estado se logró eliminando material o de otra forma.


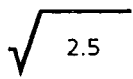

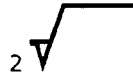
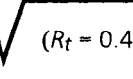
ISO 1302-1978

Tabla 17.4. Símbolos con indicación del principal criterio de rugosidad  $R_a$ 

Símbolo			Significado
La eliminación de material por maquinado es			
Opcional	Obligatoria	Prohibida	
 o 	 o 	 o 	Una superficie con valor máximo de rugosidad superficial $R_a$ de 3.2 $\mu\text{m}$
 o 	 o 	 o 	Una superficie con valor máximo de rugosidad superficial $R_a$ de 63 $\mu\text{m}$ y un mínimo de 1.6 $\mu\text{m}$ .

ISO 1302-1978

**Tabla 17.5.** Símbolos con indicación adicional

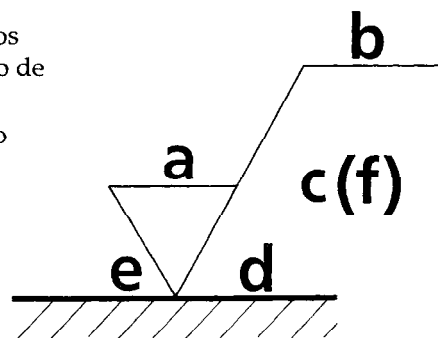
Símbolo	Significado
	Método de producción: fresado
	Longitud de muestreo: 2.5 mm
	Dirección de marcado: perpendicular al plano de proyección de la vista.
	Tolerancia de maquinado: 2 mm
	Indicación (en paréntesis) de un criterio de rugosidad diferente de Ra; por ejemplo, $R_t = 0.4 \mu\text{m}$

ISO 1302-1978

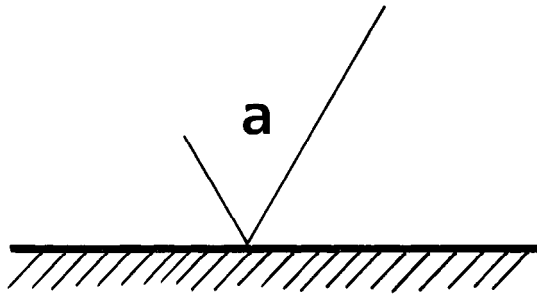
### RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA MEDIR LA RUGOSIDAD DE UNA SUPERFICIE

De acuerdo con la norma ISO 1302-1978, las especificaciones del acabado superficial deberán colocarse en relación con el símbolo básico como se muestra a continuación.

- a = valor  $R_a$  de rugosidad en micrómetros o micropulgadas o números de grado de rugosidad N1 a N12.
- b = método de producción, tratamiento o recubrimiento.
- c = longitud de muestreo
- d = dirección del marcado
- e = cantidad que se removerá mediante maquinado
- f = otros parámetros de rugosidad (entre paréntesis)



Sin embargo, es muy común encontrar sólo una indicación como la siguiente.



Por lo que a continuación se dan algunas recomendaciones prácticas de cómo proceder en estos casos.

1. Determinar si la medición será en  $\mu\text{m}$  o  $\mu\text{pulgadas}$ .
2. Como se indicó arriba, si no se menciona ningún parámetro en especial se entenderá que la medición será con el parámetro  $Ra$ .
3. El valor numérico mostrado indicará el valor máximo admisible y cualquier valor menor será aceptable.
4. La longitud de muestreo (o valor de *cut-off*) que deberá utilizarse, si no se especifica ninguna, será 0.8 mm o .030 pulgadas (de acuerdo con el sistema de unidades que se esté empleando).
5. La longitud de evaluación deberá fijarse igual a 5 veces la longitud de muestreo.
6. La medición se hará perpendicular a las marcas del maquinado o, si no hay una dirección preferencial, será necesario realizar tres mediciones en posiciones angulares diferentes y reportar el mayor valor.
7. Los parámetros más utilizados son  $Ra$ ,  $Rz$  y  $Ry$ , por lo que pueden encontrarse en cualquier rugosímetro; sin embargo, los dos últimos están definidos de forma diferente en las normas DIN y en las normas JIS e ISO, por tanto, habrán de seleccionarse de acuerdo con los valores que se requieran.
8. Cuando esté indicado un parámetro de rugosidad diferente a los anteriores, debe contarse con un rugosímetro capaz de medirlo. No existen factores para realizar conversiones de un parámetro a otro.

El principal criterio de rugosidad ( $Ra$ ), puede indicarse con el correspondiente número de grado de rugosidad, (ver la tabla 17.6), para evitar la malinterpretación de valores numéricos, los cuales pueden denotarse con diferentes unidades (micrómetros o micropulgadas).



Tabla 17. 6.

ISO 1302-1978

Valores de rugosidad <i>Ra</i>		Números de grados de rugosidad
$\mu\text{m}$	$\mu\text{pulg}$	
50	2000	N 12
25	1000	N 11
12.5	500	N 10
6.3	250	N 9
3.2	125	N 8
1.6	63	N 7
0.8	32	N 6
0.4	16	N 5
0.2	8	N 4
0.1	4	N 3
0.05	2	N 2
0.025	1	N 1

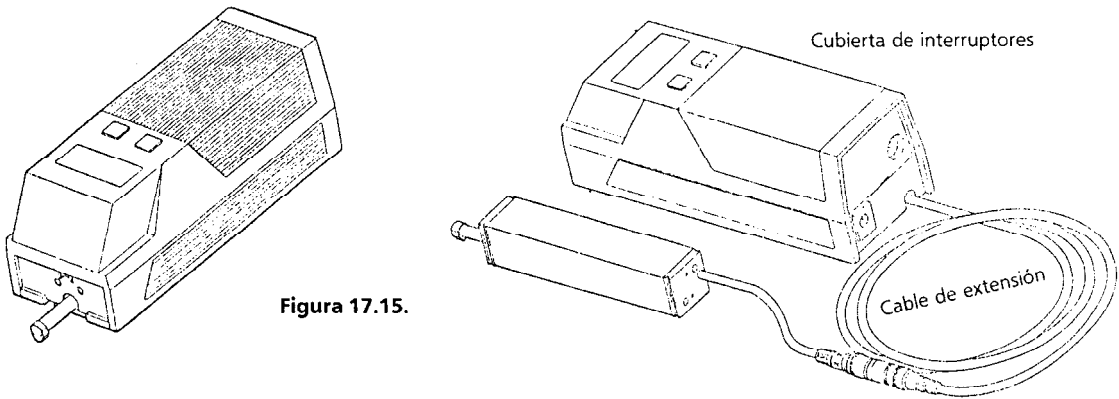


Figura 17.15.

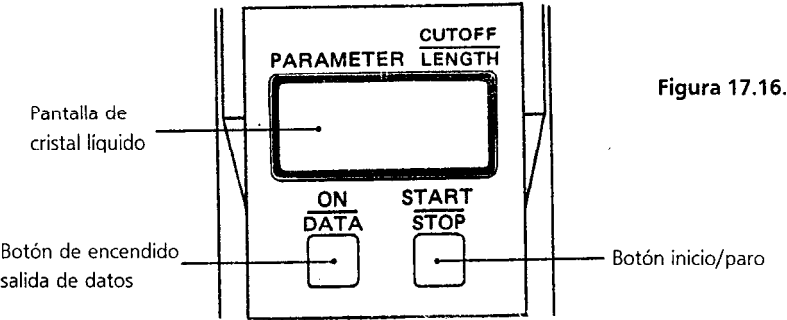


Figura 17.16.

Figura 17.17.

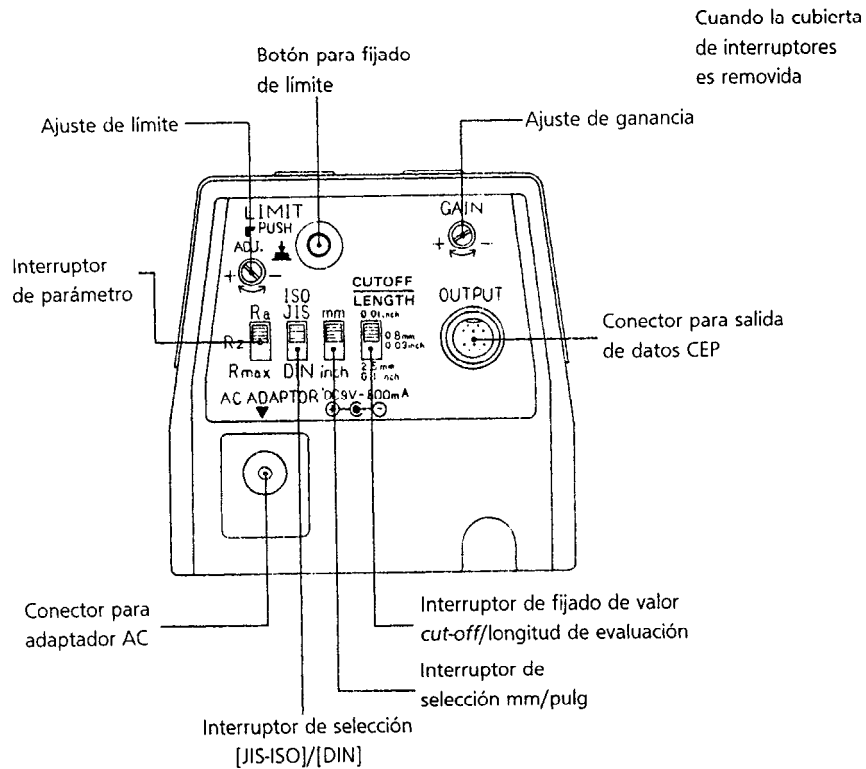


Figura 17.18.

## RUGOSÍMETROS

Las figuras 17.15 y 17.16 muestran un rugosímetro capaz de proporcionar los parámetros  $R_a$ ,  $R_z$  y  $R_y$ , según se definieron antes. La figura 17.18 muestra cómo

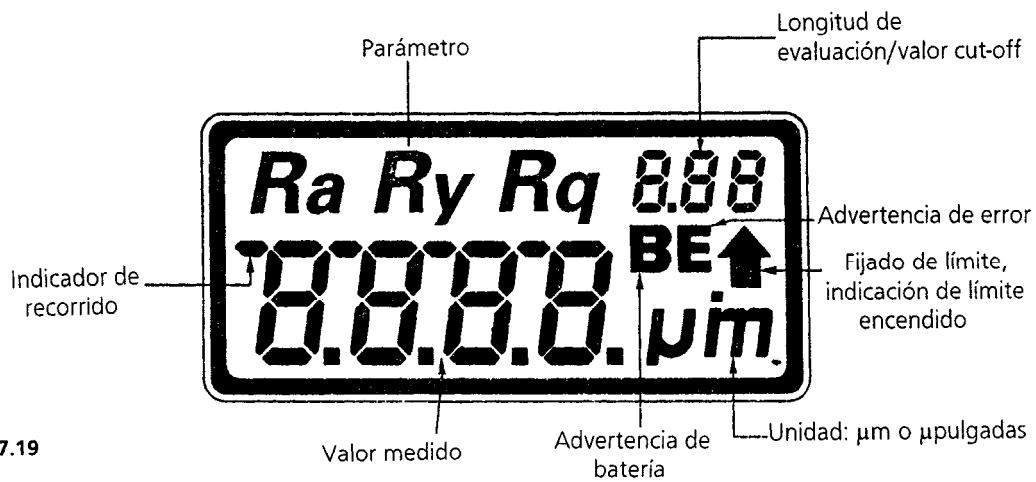


Figura 17.19

fijar las condiciones deseadas de operación mediante interruptores, y la figura 17.17 ilustra los botones de control para realizar mediciones. Para esto basta poner el detector con la unidad conductora, o todo el rugosímetro, sobre la

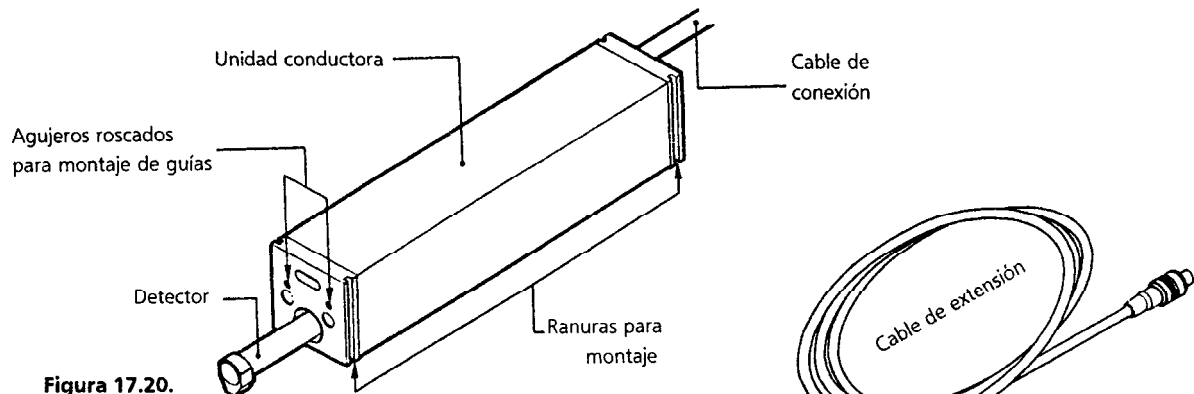
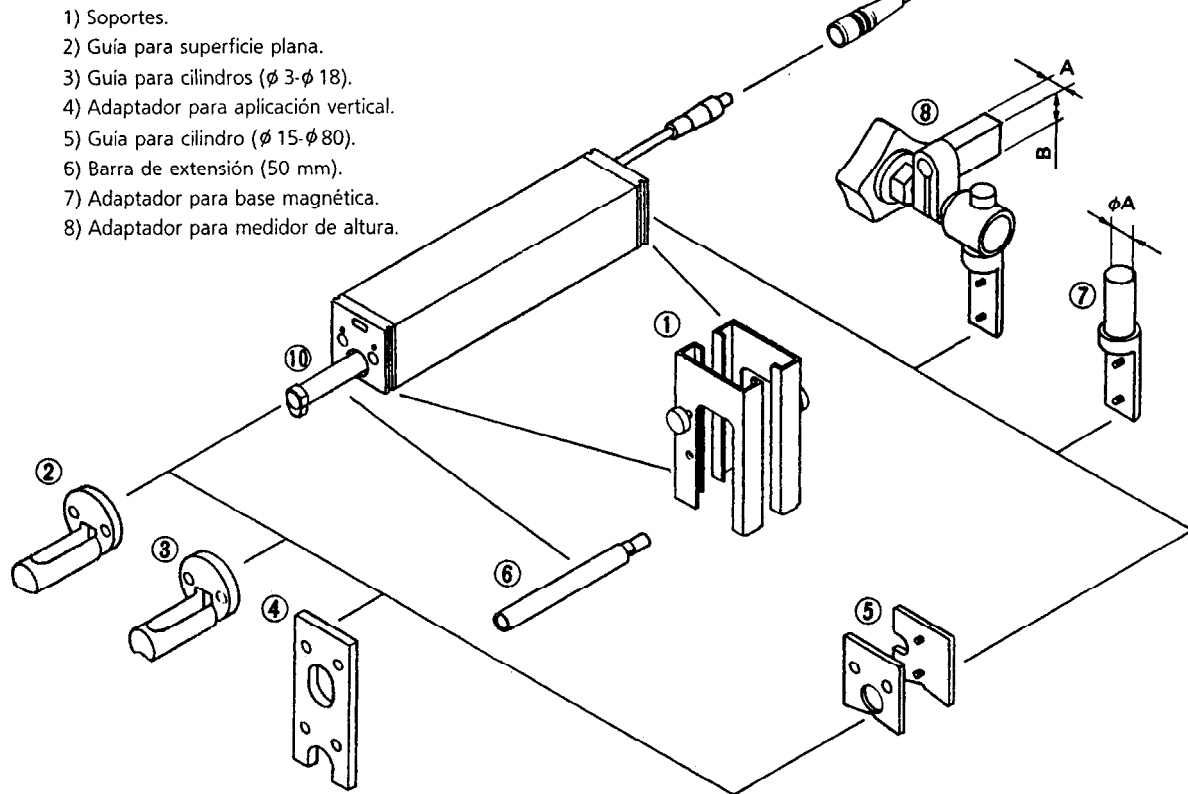


Figura 17.20.



- 1) Soportes.
- 2) Guía para superficie plana.
- 3) Guía para cilindros ( $\phi 3$ - $\phi 18$ ).
- 4) Adaptador para aplicación vertical.
- 5) Guía para cilindro ( $\phi 15$ - $\phi 80$ ).
- 6) Barra de extensión (50 mm).
- 7) Adaptador para base magnética.
- 8) Adaptador para medidor de altura.

Figura 17.21.



superficie por medir y así obtener las indicaciones como lo ilustra la figura 17.19. La pantalla no muestra toda esta información simultáneamente, ya que esto depende de las condiciones de operación fijadas.

La figura 17.20 muestra la unidad conductora y la figura 17.21 muestra algunos accesorios que pueden usarse con ella, para lograr una mayor variedad en la medición sobre superficies que no sean planas o que estén orientadas al azar.

Las figuras 17.22 y 17.23 ilustran un rugosímetro capaz de proporcionar valores de nueve parámetros diferentes por medio de una impresora integrada, lo que permite obtener la curva de perfil no filtrada, la curva de rugosidad y la gráfica de BAC, características que se definirán posteriormente. Este modelo utiliza la misma unidad conductora que el rugosímetro de las figuras 17.15 y 17.16, por tanto pueden utilizarse los mismos accesorios de la figura 17.21.

La figura 17.24 ilustra un rugosímetro que reúne las características de los dos anteriores, es decir, muestra los valores en una pantalla y puede imprimirlos en su impresora integrada. También utiliza la misma unidad conductora y, por

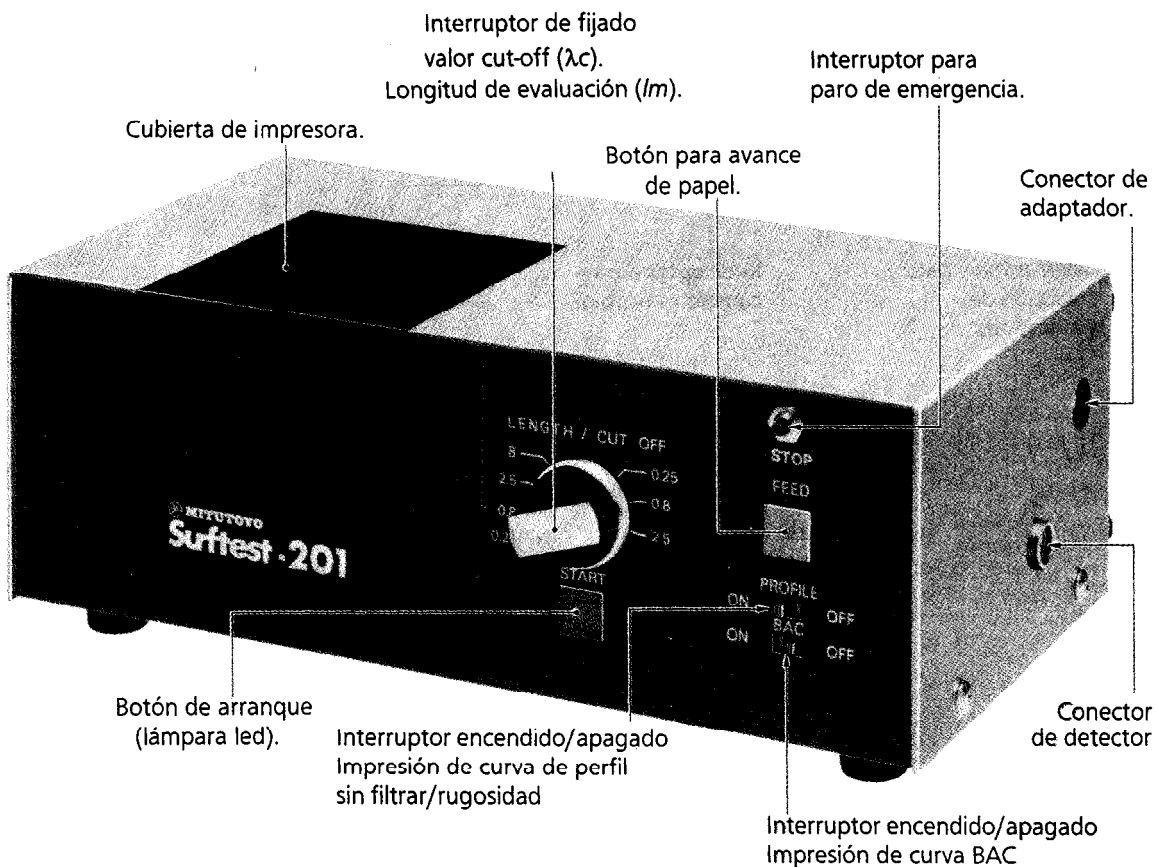


Figura 17.22.

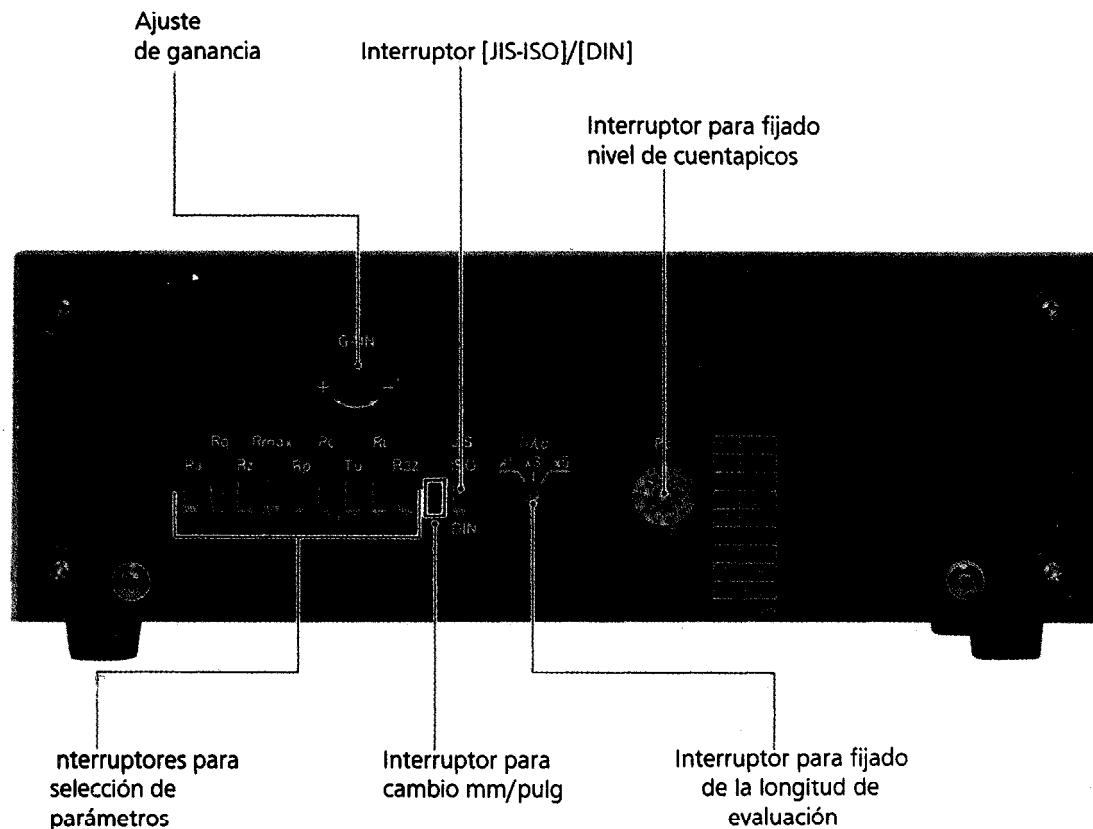


Figura 17.23.

tanto, los mismos accesorios, proporciona valores de 8 parámetros y cuenta con salida de datos para CEP. Las figuras 17.25, 17.26 y 17.27 ilustran el panel conector, el panel de operación y los interruptores para fijar de condiciones de operación.

Para la calibración de los rugosímetros se cuenta con un patrón, ilustrado en la figura 17.26, el cual es un bloque plano cuya superficie está cubierta con ranuras consecutivas paralelas de forma y tamaño específicos. El rugosímetro o la unidad conductora se coloca sobre una placa, como lo ilustra la figura 17.29, de modo que el palpador haga contacto sobre el patrón de rugosidad y entonces se realiza la medición. El valor que se obtenga debe acercarse al indicado en el patrón, en caso contrario se ajusta, con la ayuda de un pequeño desarmador, el tornillo de ganancia en la dirección adecuada (Fig. 17.30) y enseguida se realiza una nueva medición para comprobar que el ajuste resultó adecuado. Esta calibración debe realizarse periódicamente, y en caso de duda acerca del patrón, debido al continuo uso a que está sujeto, lo más conveniente es reemplazarlo por uno nuevo.

La figura 17.31 muestra otro rugosímetro capaz de proporcionar valores de parámetros en la pantalla, pero que puede conectarse a una unidad adicional, denominada analizador, y proporcionar 12 parámetros de la curva sin filtrar, de la filtrada o de ambas, según estén definidos. En este caso pueden obtenerse los valores y las curvas impresas por el analizador o es posible conectar la unidad básica a un impresor para obtener los valores impresos o a un graficador con amplificación vertical de hasta 50 000X.

La figura 17.32 ilustra un rugosímetro, con su propia unidad de procesamiento e impresora, capaz de proporcionar 62 parámetros de seis curvas de medición diferentes. Hay equipos que evalúan prácticamente todos los parámetros de rugosidad y ondulación en las normas JIS, ISO, DIN y NF.

## DEFINICIÓN DE OTROS PARÁMETROS

Enseguida se da, como dato informativo, la definición de algunos otros parámetros de rugosidad y de las otras cuatro curvas relacionadas con la medición de la ondulación. Cabe hacer notar que conocer esto es útil, pero para la medición sólo se requiere un rugosímetro capaz de proporcionar el parámetro deseado.

La raíz cuadrática de la desviación del perfil, denominada  $Rq$  (RMS), es el valor de los alejamientos del perfil de la línea central dentro de la longitud de evaluación  $l_m$  de la curva  $R$  y se representa mediante la fórmula

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} f(x)^2 dx}$$

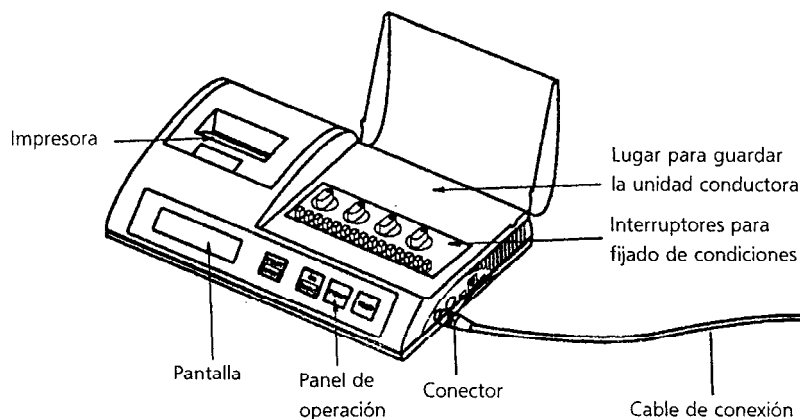


Figura 17.24.

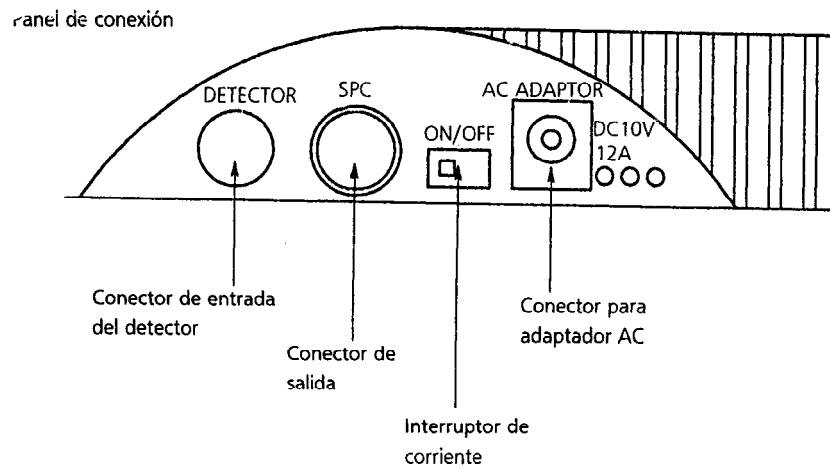


Figura 17.25.

Panel de  
operación

Pantalla

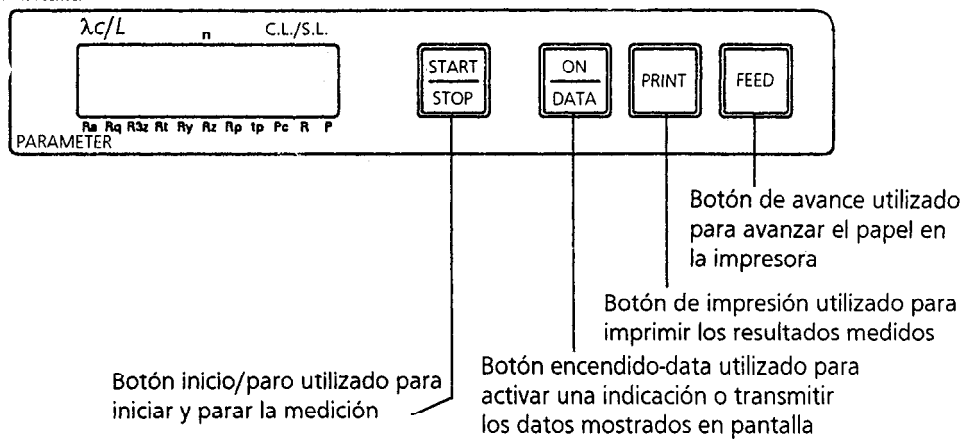


Figura 17.26.

Interruptores para fijado de condición

Estará parpadeando con el siguiente interruptor de fijado

Interruptor para fijado de valor *cut-off*/longitud de muestreo

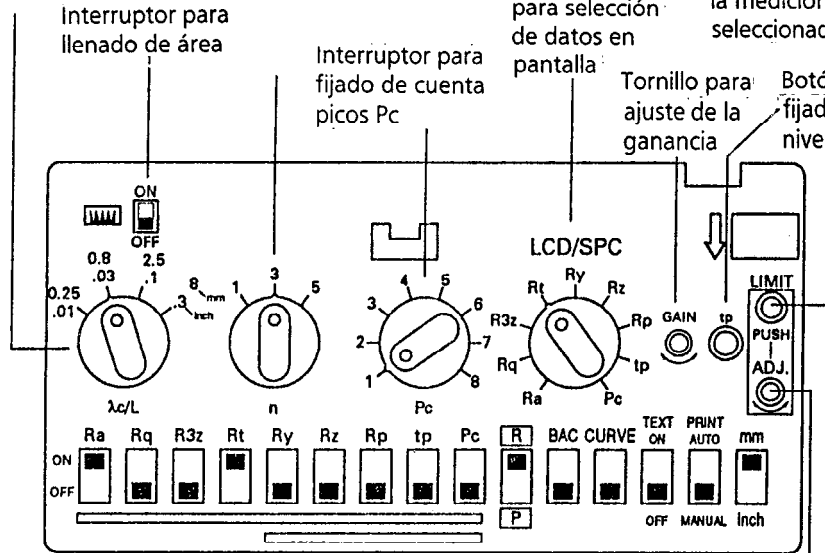
Interruptor para fijado de la longitud de evaluación

0.8 mm x3  
Ra Rt R  
8.7  $\mu$ m

Interruptor para selección de datos en pantalla

Resultado de la medición seleccionada

Tornillo para ajuste de la ganancia  
Botón para fijado del nivel de *tp*



Interruptor para selección de parámetros. Únicamente los datos resultantes de los parámetros que han sido seleccionados de antemano serán mostrados en la pantalla e impresos como sigue: por ejemplo, cuando los interruptores han sido fijados como es mostrado arriba.

valor Rt  
0.8 mm x3  
Ra Rt R  
8.7  $\mu$ m  
Ra y Rt son medidos

Interruptor para selección de curva de medición

Interruptor de BAC

Interruptor de curva

Interruptor de texto

Interruptor para fijado de modo de impresión

Interruptor para conversión mm/pulg

Tornillo para ajuste del valor límite  
Botón límite

El valor límite puede ser fijado mediante estos interruptores en combinación

Figura 17.27.



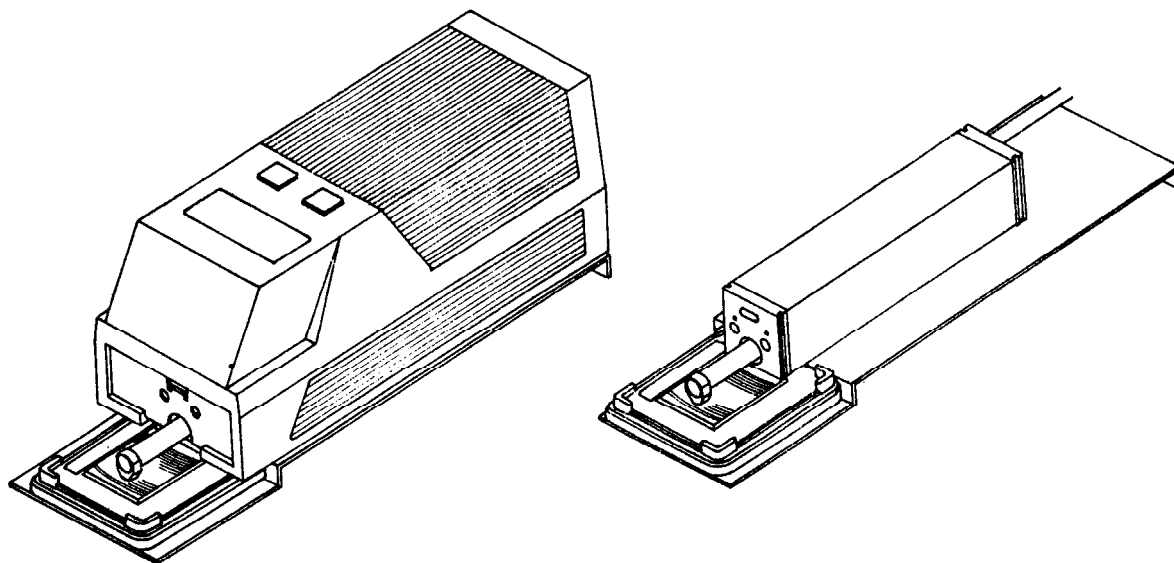


Figura 17.28.

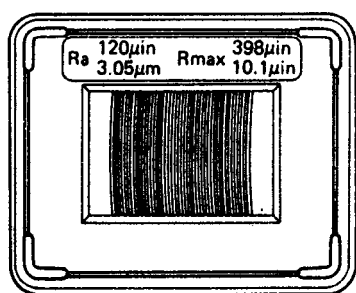


Figura 17.29.

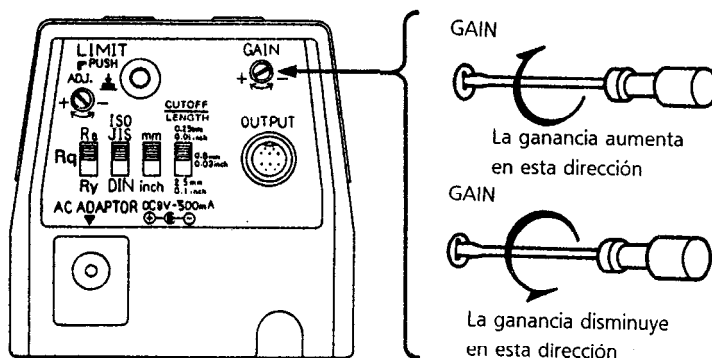


Figura 17.30.

Donde la curva  $R$  se define como  $Z = f(x)$  con el eje  $x$  para la línea central y el eje  $z$  en la dirección de la amplificación vertical (Fig. 17.33).



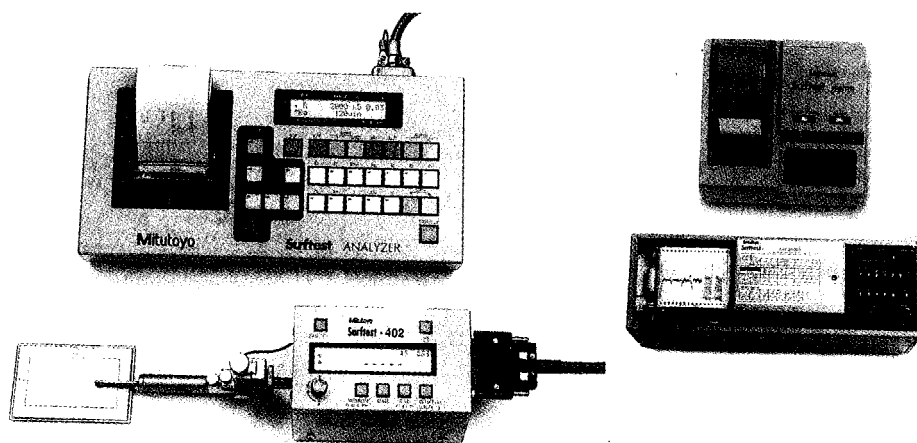


Figura 17.31.

Este rugosímetro cuenta con su propia unidad de procesamiento e impresora.



Figura 17.32.

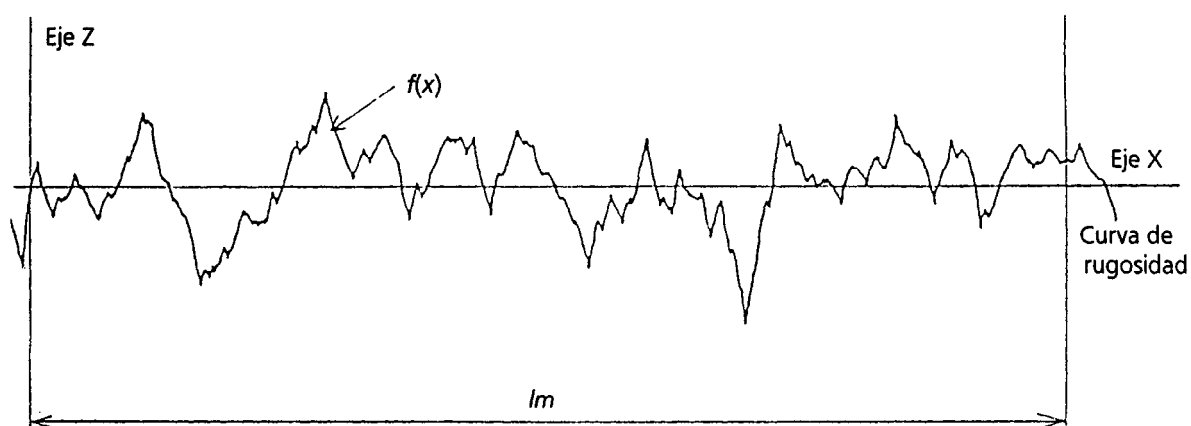


Figura 17.33.

La altura máxima de pico a valle  $R_t$  es la distancia entre el pico más alto y el valle más bajo del perfil de rugosidad dentro de la longitud de evaluación  $l_m$  (Fig. 17.34).

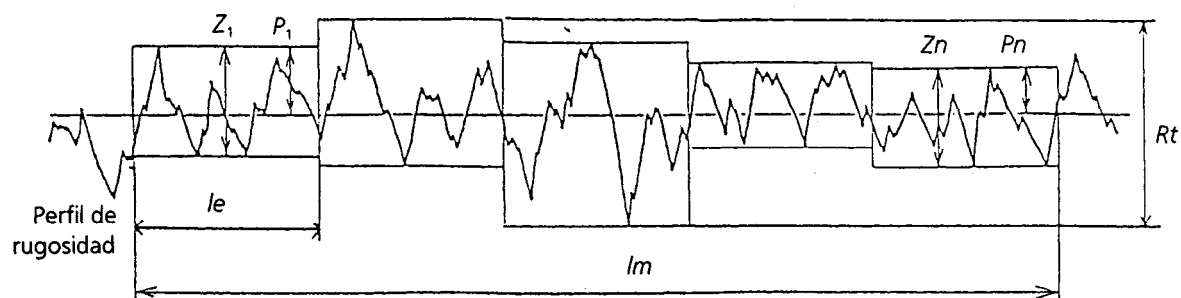


Figura 17.34.

La máxima altura de los picos del perfil  $R_p$ , en el caso del perfil sin filtrar, es la máxima altura del perfil sobre la línea central dentro de la longitud de evaluación  $l_m$  (Fig. 17.35).

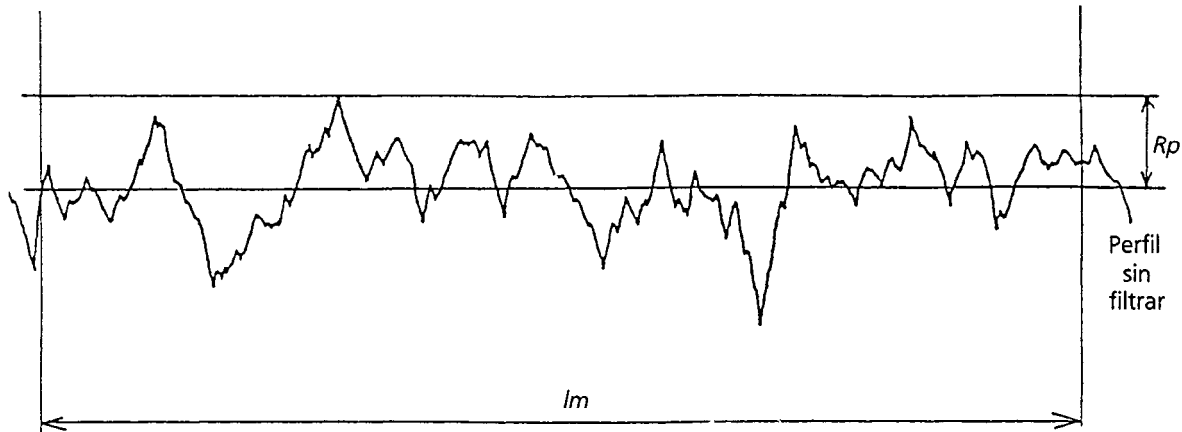


Figura 17.35.

El perfil de rugosidad  $R_p$  (llamado también  $R_{pm}$ ) es el promedio aritmético de la máxima altura del perfil arriba de la línea central, en una longitud de muestreo, sobre la longitud de evaluación (Fig. 17.36).

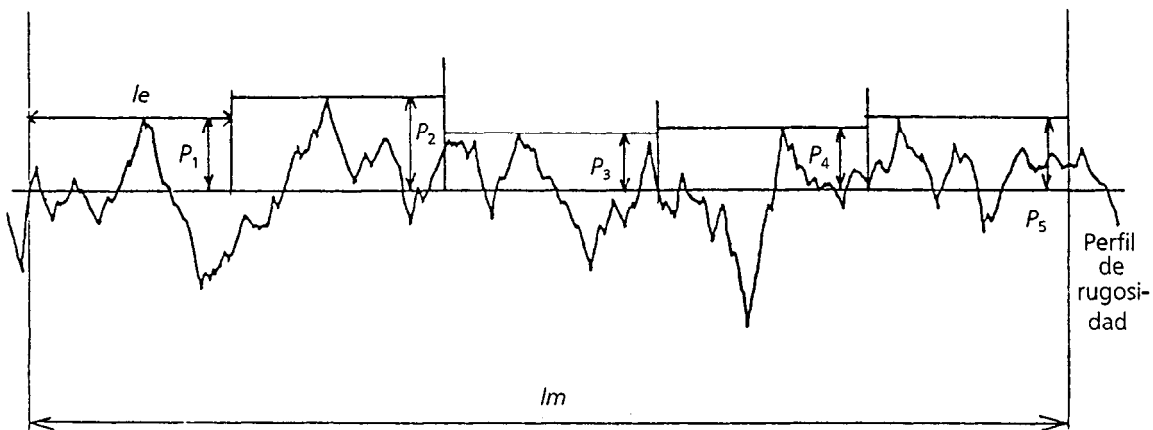


Figura 17.36.

$$R_{pm} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5}{5}$$

La cuenta de picos ( $P_c$ ) es el número de picos del perfil por unidad de longitud (cm o pulg) a lo largo de la línea central dentro de la longitud de evaluación ( $l_m$ ) del perfil. Para determinar la cuenta de picos se dibujan dos líneas paralelas a la línea

central en un nivel predeterminado (nivel de conteo) arriba y abajo de la línea central y así formar una zona muerta. Cada par (ciclo) de un pico que se proyecte arriba del nivel superior de conteo y el valle adyacente que cae debajo del nivel inferior se cuenta como un pico del perfil. El número de picos del perfil que

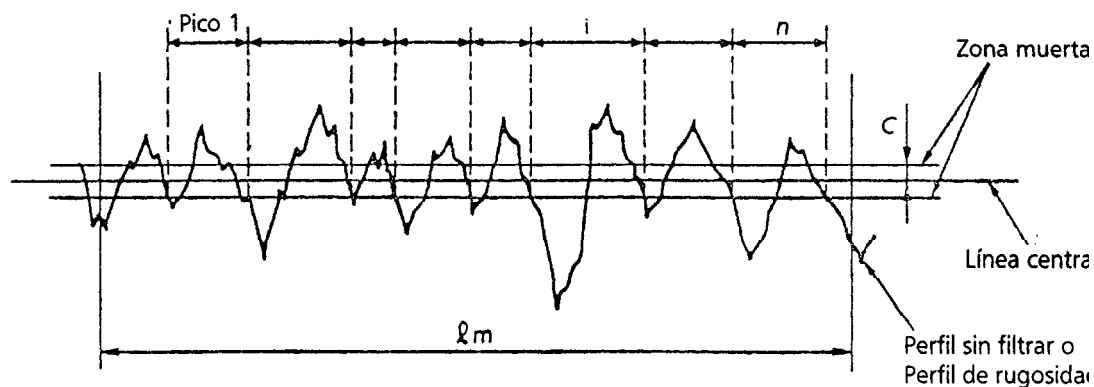
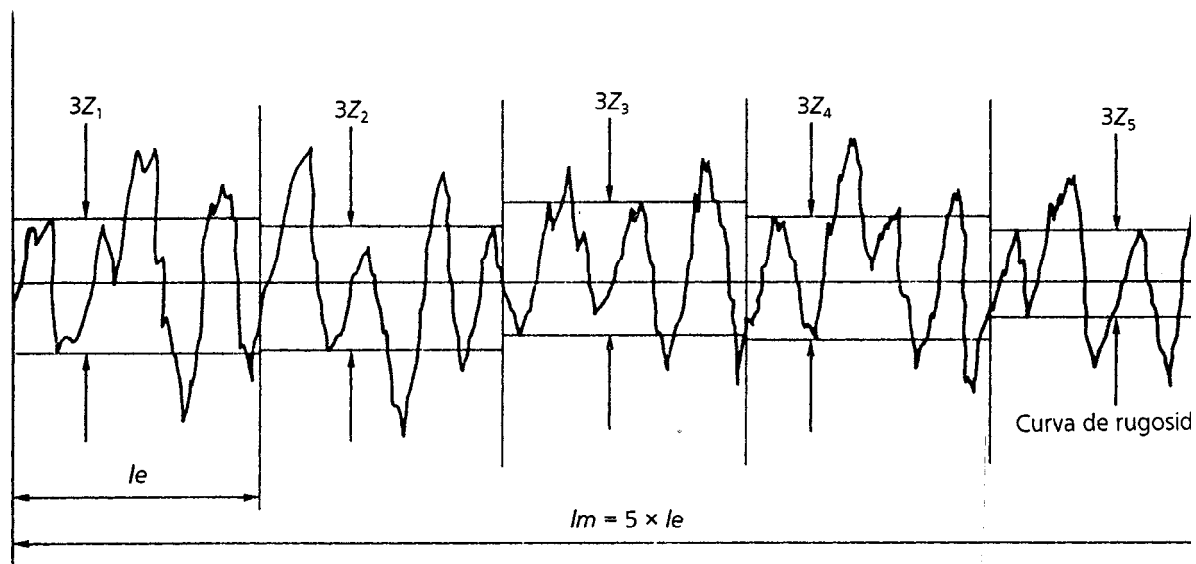


Figura 17.37.



$$R_{3Z} = \frac{3Z_1 + 3Z_2 + 3Z_3 + 3Z_4 + 3Z_5}{5}$$

Donde  $3Z_i$  es la diferencia en altura del tercer pico más alto al tercer valle más bajo en cada longitud de muestreo

Figura 17.38.

se determina así sobre la longitud de evaluación se multiplica por un factor adecuado para obtener el número de picos del perfil por cm o pulg.

El nivel de conteo ( $c$ ) se especifica como 0.50% (entero) de la máxima altura de pico a valle, o como la altura en  $\mu\text{m}$  o  $\mu\text{pulg}$  arriba de la línea central (Fig. 17.37).

La *altura promedio de pico a valle* ( $R_{3z}$ ) es el promedio entre el tercer pico más alto y el tercer valle más bajo en una longitud de muestreo dentro de una longitud de evaluación ( $lm$ ) para la curva de rugosidad (Fig. 17.38).

La *pendiente promedio aritmético del perfil* ( $\Delta a$ ), medida en la dirección de la línea central, está basada en los valores absolutos de la razón de cambio de los alejamientos del perfil dentro de la longitud de evaluación ( $lm$ ) del perfil (Fig. 17.39).

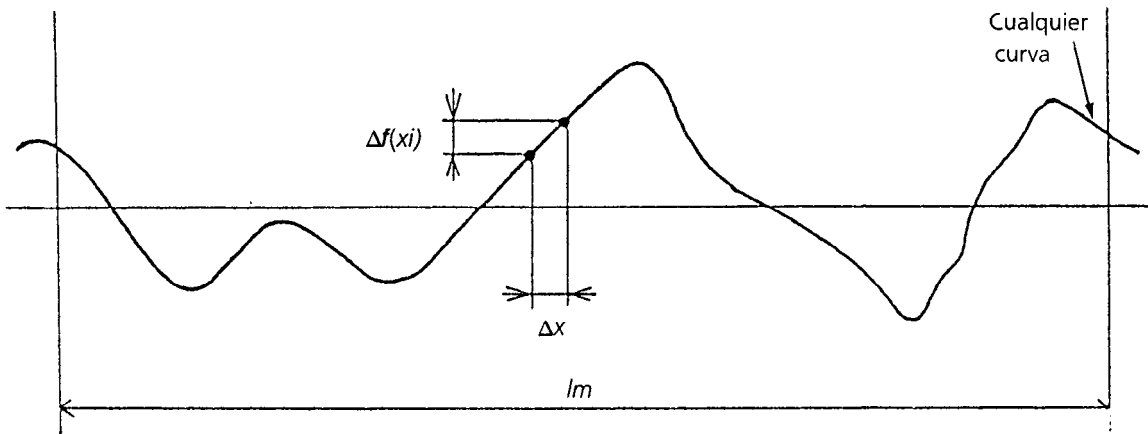


Figura 17.39

$$\Delta a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta f(x_i)}{\Delta x} \right|$$

El *espacio promedio de irregularidades del perfil* ( $S_m$ ), se define como el recíproco de  $P_c$ , el cual se determina de cualquiera de las curvas. También puede definirse como el valor promedio del espacio de irregularidades del perfil que se proyecta arriba de la línea central de una curva cualquiera, dentro de la longitud de muestreo, y se expresa como (Fig. 17.40).

$$S_m = \frac{S_{m1} + S_{m2} + \dots + S_{mn}}{n}$$

El *espacio promedio de picos locales del perfil* ( $S$ ) se mide en la dirección de la línea central sobre la longitud de evaluación ( $lm$ ) de cualquier curva; se obtiene

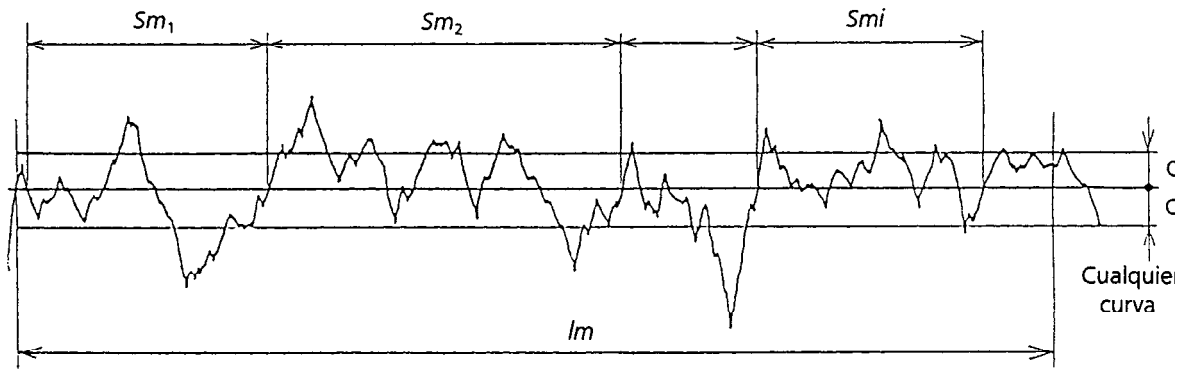


Figura 17.40.

dividiendo la distancia entre el primer y último picos locales entre el número de picos locales incluidos en la longitud de evaluación. Un pico local es la parte más alta del perfil entre dos mínimos adyacentes y queda incluido si por lo menos 10% del valor de  $Ry$  (curva  $P$ ) o  $Rt$  (curva  $R$ ) y la distancia entre el pico y el pico precedente son 1%, cuando menos, de la longitud de muestreo ( $le$ ) del perfil (para la curva  $P$  y para la curva  $R$ ) (Fig. 17.41).

$$S = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{n}$$

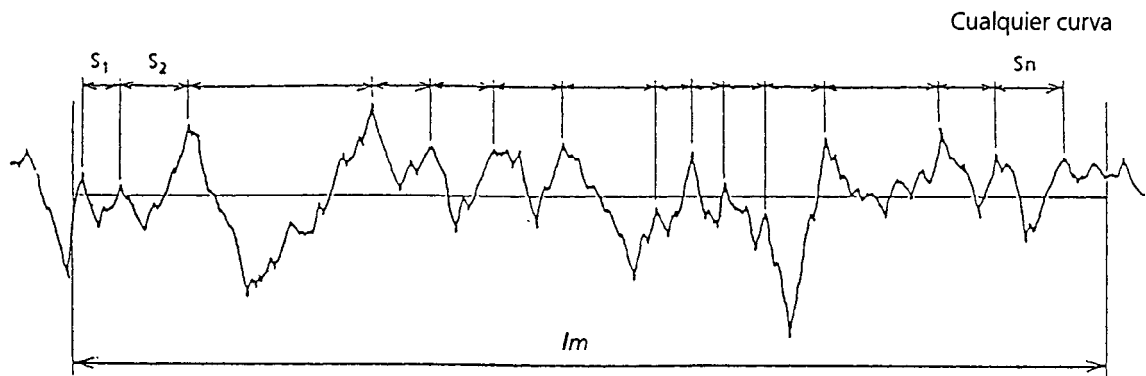


Figura 17.41.

La *cuenta alta de puntos (HSC)* es el número de picos —por unidad de longitud, cm o pulg, dentro de la longitud de evaluación ( $lm$ ) de cualquier curva— proyectados arriba del nivel especificado de conteo paralelo a la línea central. Un pico de cuenta alta de puntos que no incluye algún pico local no será contabilizado (Fig. 17.42).

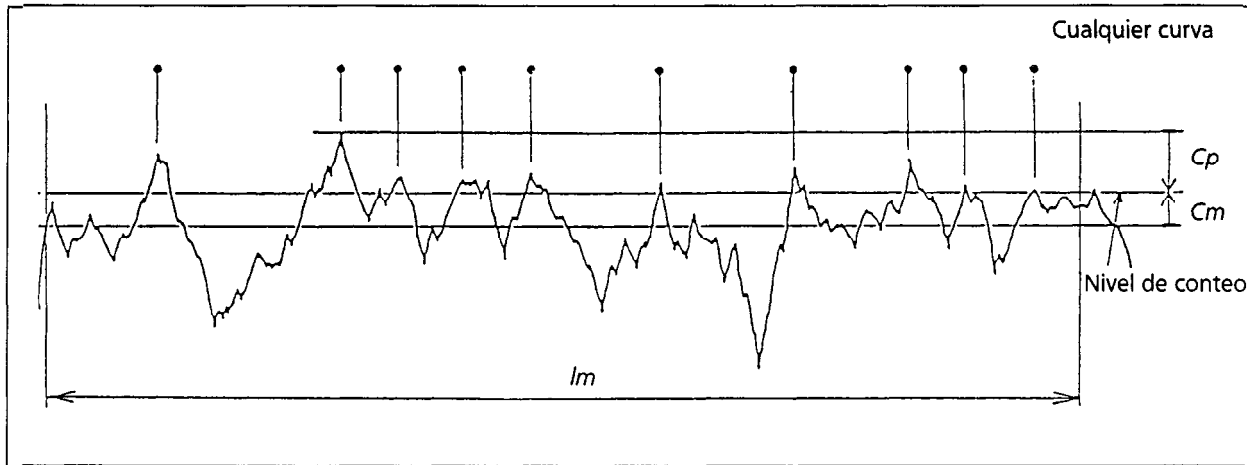


Figura 17.42.

El nivel de conteo puede fijarse en dos formas; una estableciendo el pico de referencia donde el nivel de conteo se especifica mediante la profundidad por  $Cp$  debajo de la línea de picos del perfil. La otra forma es la referencia base en la cual el nivel de conteo se especifica mediante la altura  $Cm$  arriba de la línea central.

Para el pico de referencia, el más alto nivel de conteo está representado por un  $Cp$  de 0% o 0  $\mu m$ , y entre mayor sea el  $Cp$  más bajo será el nivel de conteo.

Para la referencia base el nivel de la línea central se representa por un  $Cm$  de 0% o 0  $\mu m$ , y entre mayor sea el  $Cm$  más alto será el nivel de conteo. Los niveles de conteo por debajo de la línea central se expresan como valores negativos de  $Cm$ .

### Relación de longitud de contacto (1) $tp1$

Ocurre entre las longitudes de contacto y de evaluación ( $lm$ ) y se expresa como un porcentaje, donde la longitud de contacto se define como la suma de las longitudes de las secciones obtenidas al cortar el perfil de cualquier curva con una línea paralela a la línea central, dentro de la longitud de evaluación, en un nivel especificado (Fig. 17.43).

$$tp1 = \frac{1}{lm} \times \sum_{i=1}^n ti \times 100 (\%)$$

El nivel de corte puede fijarse en dos formas: una estableciendo el pico de referencia donde el nivel de corte se especifica mediante la profundidad  $Cp$  por



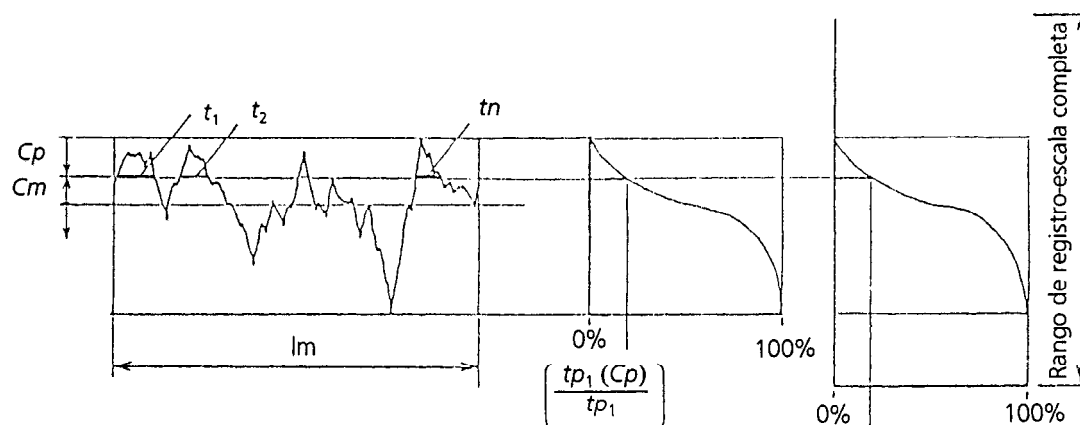


Figura 17.43.

debajo de la línea de perfil de picos. La otra forma es la referencia base en la cual el nivel de corte se especifica mediante la altura  $Cm$  por arriba de la línea central.

Para el pico de referencia el mayor nivel de corte lo representa un  $Cp$  de 0% o 0  $\mu m$ , y entre mayor sea el  $Cp$  expresado como un porcentaje (incrementos de 1%) o en  $\mu m$ , menor será el nivel de corte. El nivel de corte más bajo lo representa por un  $Cp$  de 100%.

Para la referencia base, el nivel de la línea central lo representa un  $Cm$  de 0% o 0  $\mu m$ , y entre mayor sea el valor  $Cm$  mayor será el nivel de corte. Los niveles de corte por debajo de la línea central se expresan como valores negativos de  $Cm$ .

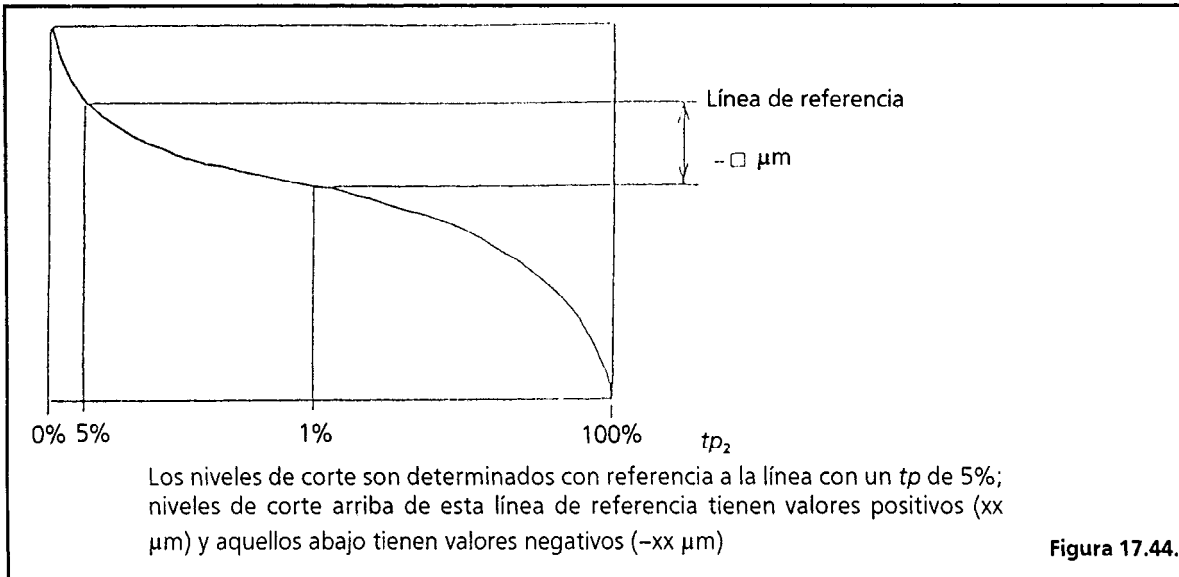
### Relación de longitud de contacto (2) $tp2$

Los niveles de corte a valores de  $tp$  de 0, 5, 10, ..., 95% (incrementos de 5%) se expresan como una distancia (+/-  $\mu m$ ) desde la línea de referencia (0  $\mu m$ ) con un  $tp$  de 5%. El valor  $tp$  es la relación entre la longitud de contacto y la longitud de evaluación ( $lm$ ), y se expresa como un porcentaje donde la longitud de contacto se define como la suma de las longitudes de las secciones obtenidas mediante un corte del perfil de cualquier curva con una línea paralela a la línea central, dentro de la longitud de evaluación, a un nivel especificado (Fig. 17.44).

### Relación de longitud de contacto (3) $tp3$

Los valores  $tp$  para un número especificado de niveles de corte (máximo 50), uniformemente espaciados (especificados en  $\mu m$ ) por debajo de una línea de referencia que tiene un valor  $tp$ , es la relación entre las longitudes de contacto y de evaluación ( $lm$ ), y se expresa como un porcentaje, donde la longitud de contacto se define como la suma de las longitudes de las secciones obtenidas

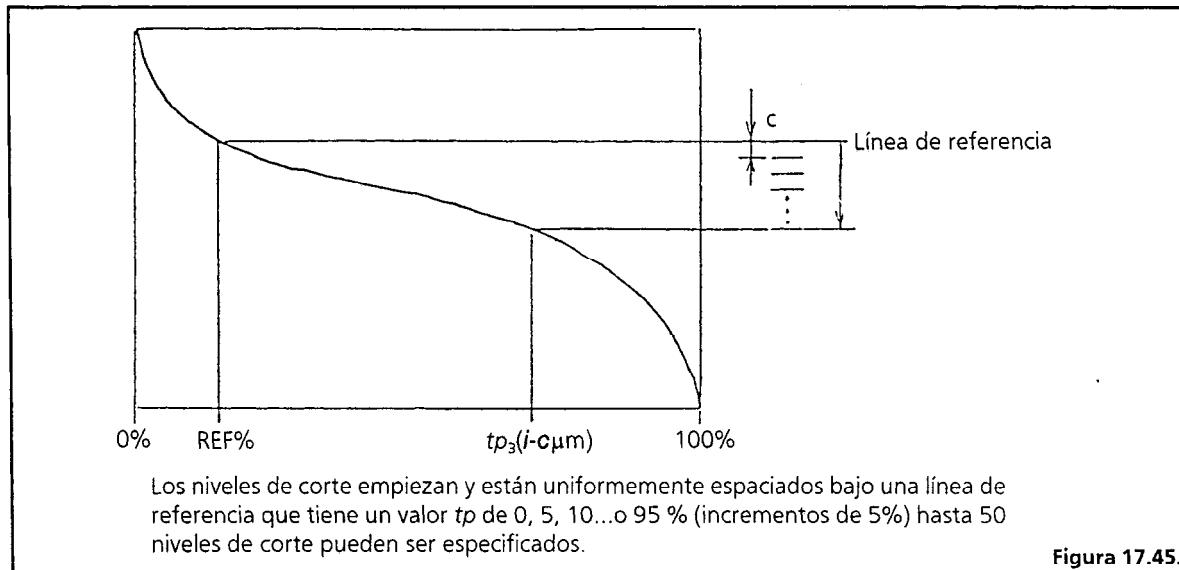




cortando el perfil de cualquier curva con una línea paralela a la línea central, dentro de la longitud de evaluación, a un nivel especificado (Fig. 17.45).

### Curva de área de contacto BAC 1

Esta curva es la representación gráfica de la relación entre la relación de longitud de contacto del perfil  $tp$  1(%) y los niveles de corte (%) utilizando el pico de referencia. El eje vertical de la gráfica representa el nivel de corte (incrementos



de 2%), y el eje horizontal los valores  $tp$ . El rango total de la escala (40 mm) para el nivel de corte ( $Cp$ ) y la relación de longitud de contacto del perfil ( $tp1$ ) es 100% (Fig. 17.46).

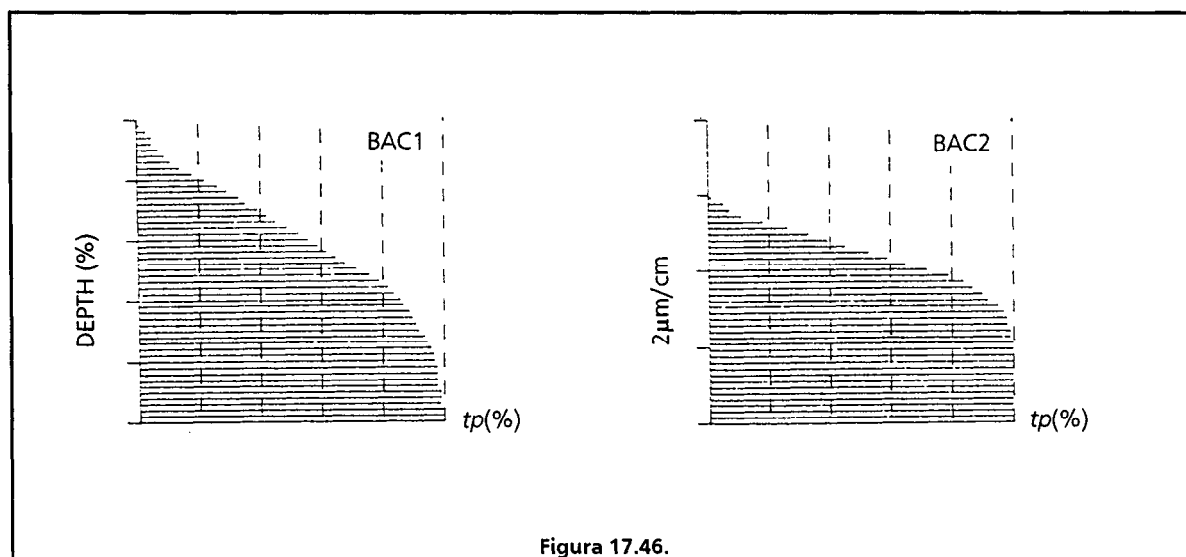


Figura 17.46.

### Curva de área de contacto BAC 2

Esta curva es la representación gráfica de la relación entre la relación de longitud de contacto del perfil  $tp1$  (%) y los niveles de corte (%) utilizando el pico de referencia.

El eje vertical de la gráfica representa el nivel de corte con la línea central localizada a mitad de camino del rango total de la escala (40 mm), y cada división representa un cincuentavo de la distancia entre el pico más alto y el valle más bajo a lo largo de la longitud de evaluación. El eje horizontal representa los valores  $tp1$  (%).

Los valores  $tp$  para niveles de corte debajo del punto más bajo del perfil se fijan como 100%. Si la amplificación del perfil impreso no es lo suficientemente grande y la distancia entre los puntos más alto y más bajo es demasiado pequeña para 50 divisiones, entonces el graficado debe realizarse con un número menor de divisiones.

## CURVAS DE ONDULACIÓN

### Curva de ondulación filtrada.

Esta curva se obtiene eliminando del perfil las longitudes de ondulación pequeñas que son componentes de la rugosidad de la superficie (Fig. 17.47).

### Círculo rodante y curva de ondulaciones de círculo rodante

Un lugar geométrico determinado por el centro de un disco de radio fijo, el cual traza un perfil denominado curva de ondulación de círculo rodante, y este disco es llamado círculo rodante (Fig. 17.48).

### Curva de ondulación de línea central filtrada o curva de ondulación de línea central de círculo rodante

Esta curva se obtiene eliminando los componentes largos de la longitud de onda, como rectitud y redondez, de la curva de ondulación filtrada o de la curva de ondulación de círculo rodante (Fig. 17.49).

#### Ondulación máxima

Así se denomina a la máxima altura de ondulación de una porción extraída, tan larga como la longitud básica de la curva de ondulación de círculo rodante, y se expresa en micrómetro ( $\mu\text{m}$ ), definida como la máxima ondulación filtrada ( $W_{CM}$ ) o máxima ondulación de círculo rodante ( $W_{EM}$ ), respectivamente.

#### Ondulación de línea central

Si se extrae una porción de la longitud de medición de la curva de ondulación de línea central, en la dirección de ésta aquélla se expresa como  $Y = f(x)$ , tomando la línea central de la porción extraída como eje X, y la dirección de la amplificación longitudinal como eje Y. Entonces el valor de  $W_{CA}$  o  $W_{EA}$  en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), dado por la siguiente ecuación, se define como la ondulación de línea central filtrada u ondulación de línea central de círculo rodante, respectivamente (Fig. 17.50).

$$W_{CA} = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x) - C| dx \quad (\text{Fig. 17.49.})$$

donde  $[f(x)]$  C: curva de ondulación de línea central filtrada

$$W_{EA} = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x) - E| dx \quad (\text{Fig. 17.50})$$

donde  $[f(x)]$  E: curva de ondulación de línea central de círculo rodante.

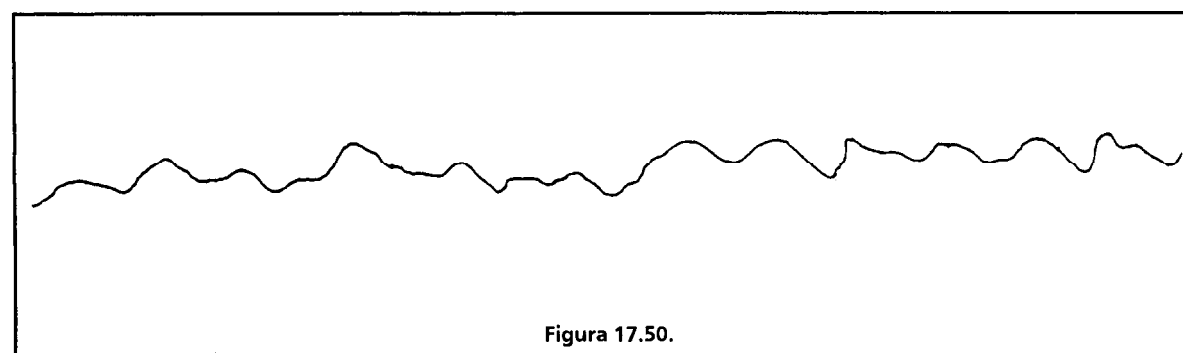
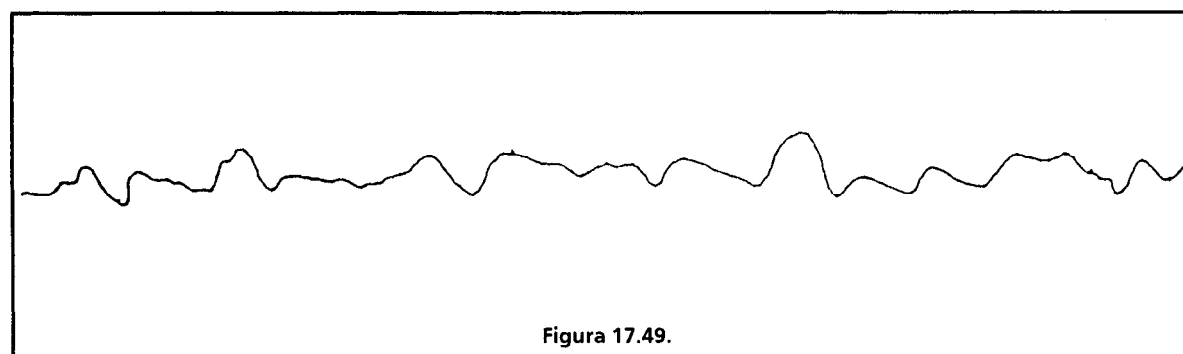
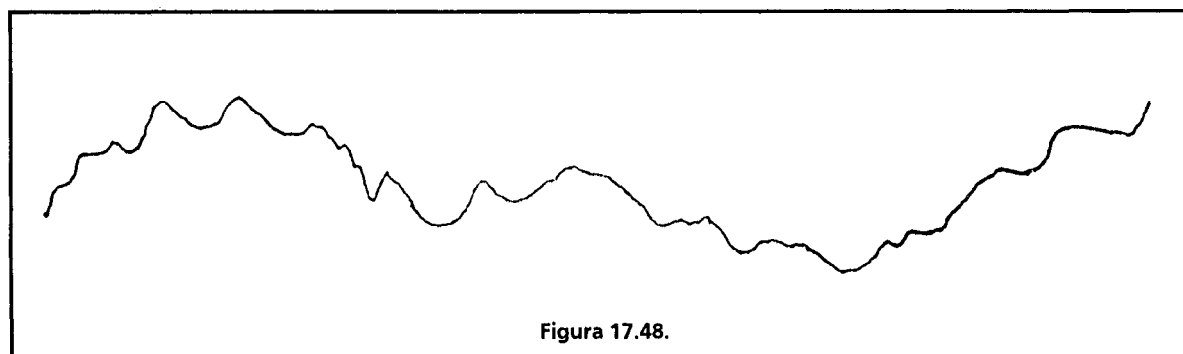
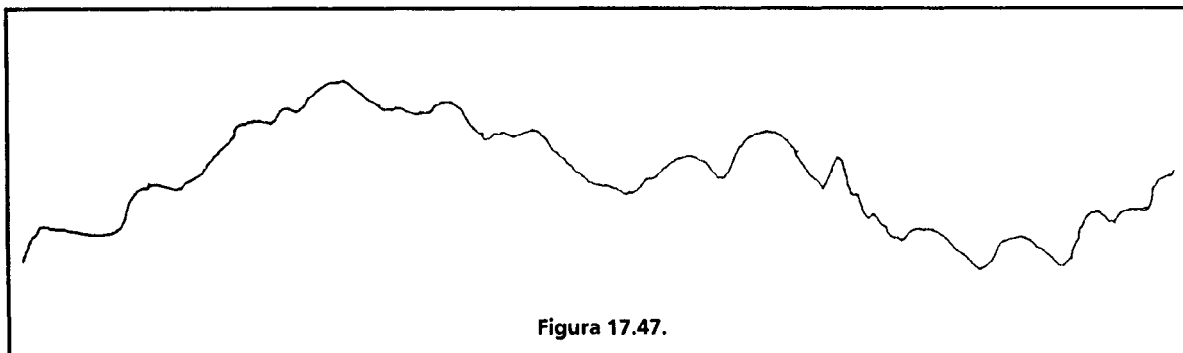
### NORMAS DE REFERENCIA

JIS B0601 definiciones y designación de la rugosidad superficial.

JIS B06010, JIS B0651, JIS B0352, JIS B0659, ISO R468, 1302, 1878, 1879, 1880, 2602, 2632, 3274, 4287, 4288, 5436.

DIN 4760, 4761, 4762, 4763, 4764, 4765, 4766, 4768, 4769, 4771, 4772, 4774.

ANSI B46.1 ANSI Y 14.36



## Calibres de verificación neumáticos

Este método y su tecnología correspondiente se apoyan en la neumática, en especial en la velocidad de los fluidos como los gases.

### MEDICIÓN POR FUGA DIRECTA DE AIRE

En este caso se tiene un orificio (denominado boquilla del palpador de fuga directa de aire) colocado a una distancia  $d'$  de una superficie de referencia  $M$ ; el eje de la boquilla de salida debe mantenerse perpendicular a la superficie  $C$ , a una distancia  $d'$  y ligeramente superior al espesor  $d$  de la pieza por medir.

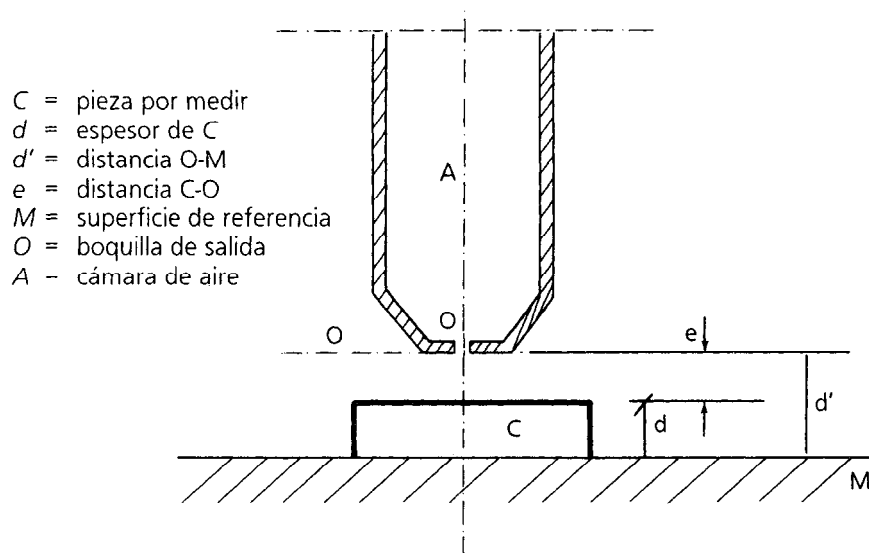
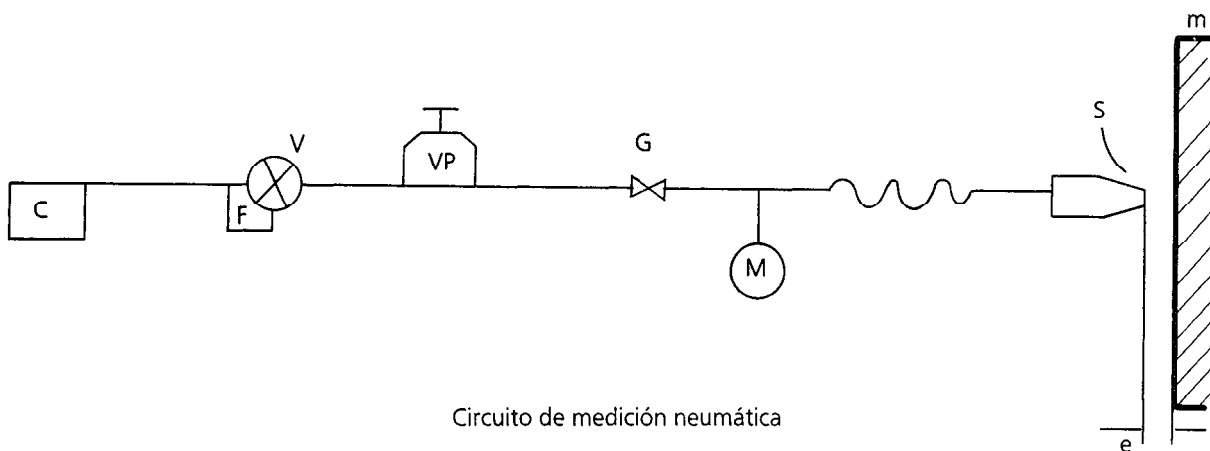


Figura 18.1.

Es posible resumir el proceso de medición así: se coloca sobre una superficie de referencia (horizontal) un bloque patrón con una dimensión nominal de la pieza  $d$ ; el aire comprimido se hace pasar por la boquilla y sobre el bloque patrón a una distancia  $e$ , en este caso el valor  $e_0 = d - d_0$ . Por medio de un dispositivo auxiliar se corrige el valor  $e_0$  de modo que el manómetro de la cámara  $A$  indique una presión cuyo valor sea 0 (cero) en su escala. En seguida se sustituye el bloque

patrón por la pieza que vaya a medirse y cuyo espesor es  $d$ ; la distancia de 0 a la superficie de referencia se vuelve  $e=d'-d$  pasando a tener  $e-e_0=d_0-d$ ; el comparador neumático adjunto permite conocer  $e-e_0$  y, por consiguiente, la cota  $d$ , ya que  $d_0$  es un bloque patrón, dimensión nominal de la pieza por medir.



**Figura 18.2.**

### Circuito neumático (medición)

- C = compresor o fuente de aire comprimido
- F = filtro
- V = válvula reductora de presión
- VP = válvula de alta precisión
- G = boquilla de entrada
- M = manómetro
- S = boquilla de salida
- m = pared que intercepta el aire de la boquilla de salida
- e = diferencia en distancia

### Mediciones de flujo por medio del efecto de arrastre

El rotámetro es un dispositivo que se usa para la medición de flujo; su esquema se muestra en la figura siguiente. El flujo entra por la parte inferior del tubo cónico vertical y ocasiona que el remache o "flotador" se mueva hacia arriba. El remache sube a un punto en el tubo en el que las fuerzas de arrastre quedan balanceadas con las del peso y flotación. La posición del remache en el tubo sirve como indicación del gasto.

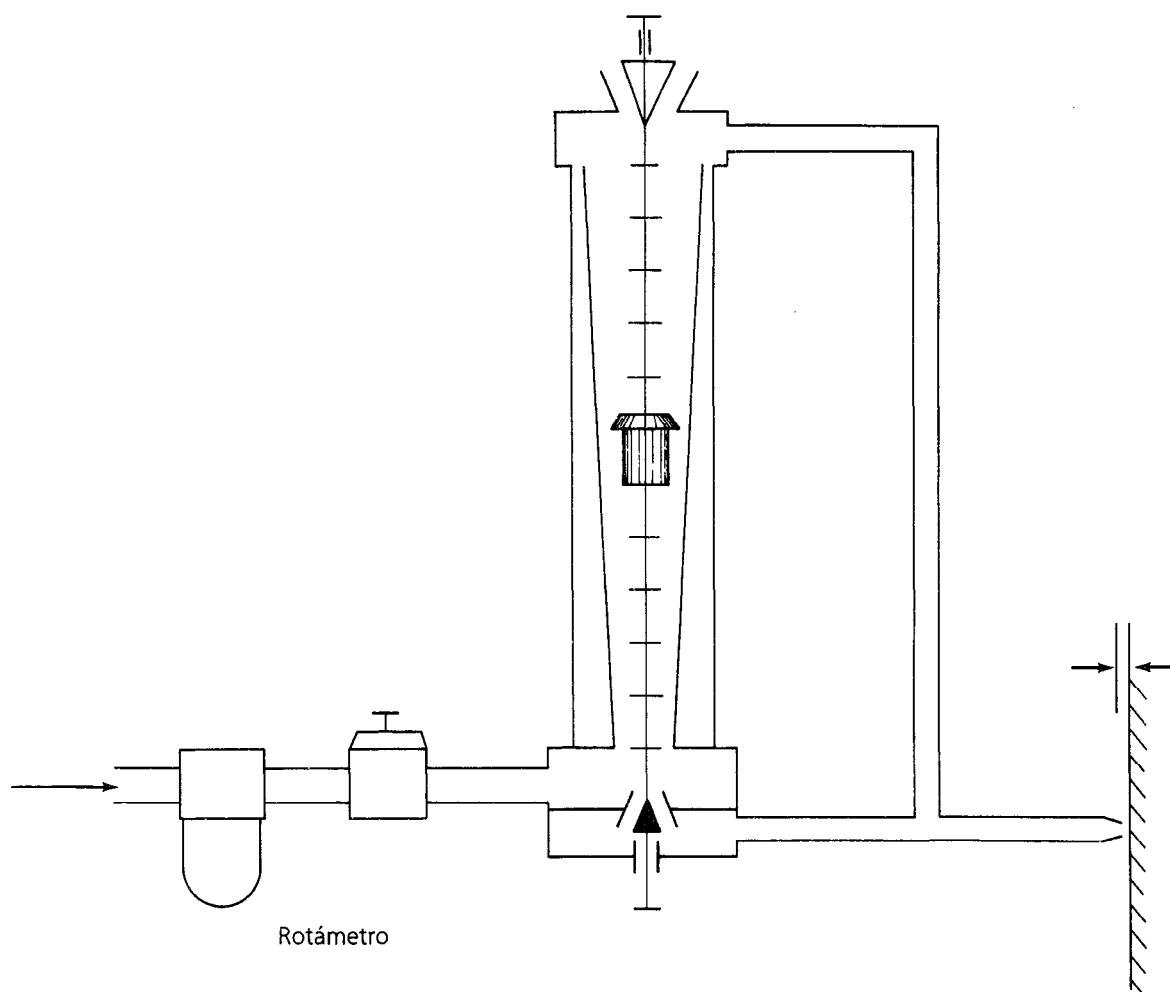


Figura 18.3.

## ROTÁMETRO

En el circuito de medición neumático el manómetro *M* no es más que un medidor de presión de tubo de Bourdon. Su mejor rango de amplificación es de 1000x a 5000x, algunas veces aun mayor si se cuenta con sistemas balanceados de presión.



Sistemas balanceados		
Amplificación	Exactitud	Rango de medición
1250:1	0.0001"	0.006"
2500:1	0.00005"	0.003"
5000:1	0.00002"	0.0015"
10 000:1	0.00001"	0.0006"
20 000:1	0.000005"	0.0003"

Las boquillas varían según los dispositivos de uso. A su vez, el flujo cambia dependiendo del claro entre la boquilla y la pieza de medición (Fig. 18.4), aprovechándose la parte lineal inclinada para la medición y el flujo.

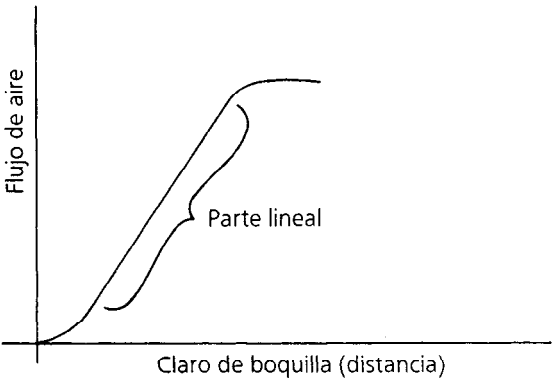
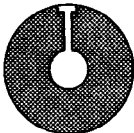
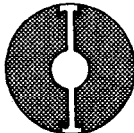


Figura 18.4.

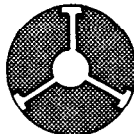
Los tipos de boquilla y algunas de sus aplicaciones son como sigue:  
Para diámetros interiores en piezas cilíndricas.



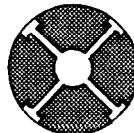
Inserto de una tobera para evaluar concentricidad, localización, perpendicularidad, planitud, linealidad, longitud, profundidad.



Inserto de dos toberas para evaluar diámetros interiores, redondez.

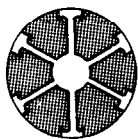


Inserto de tres toberas para evaluar redondez.



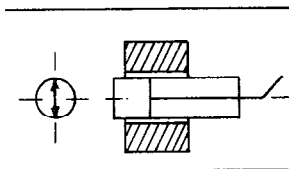
Inserto de cuatro toberas para evaluar diámetros promedio.



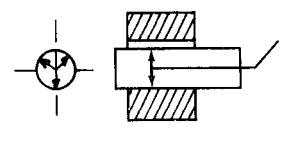


Inserto de seis toberas para evaluar y determinar diámetros promedio de los casos de tres y cuatro toberas.

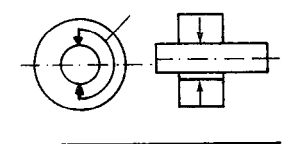
Aplicaciones especiales toberas simples y combinadas:



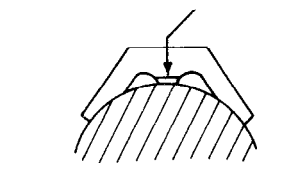
Diámetro



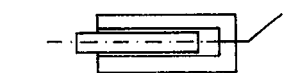
Diámetro con compensación de ovalamiento



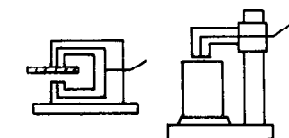
Diámetro



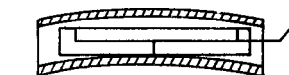
Diámetro método de tres puntos



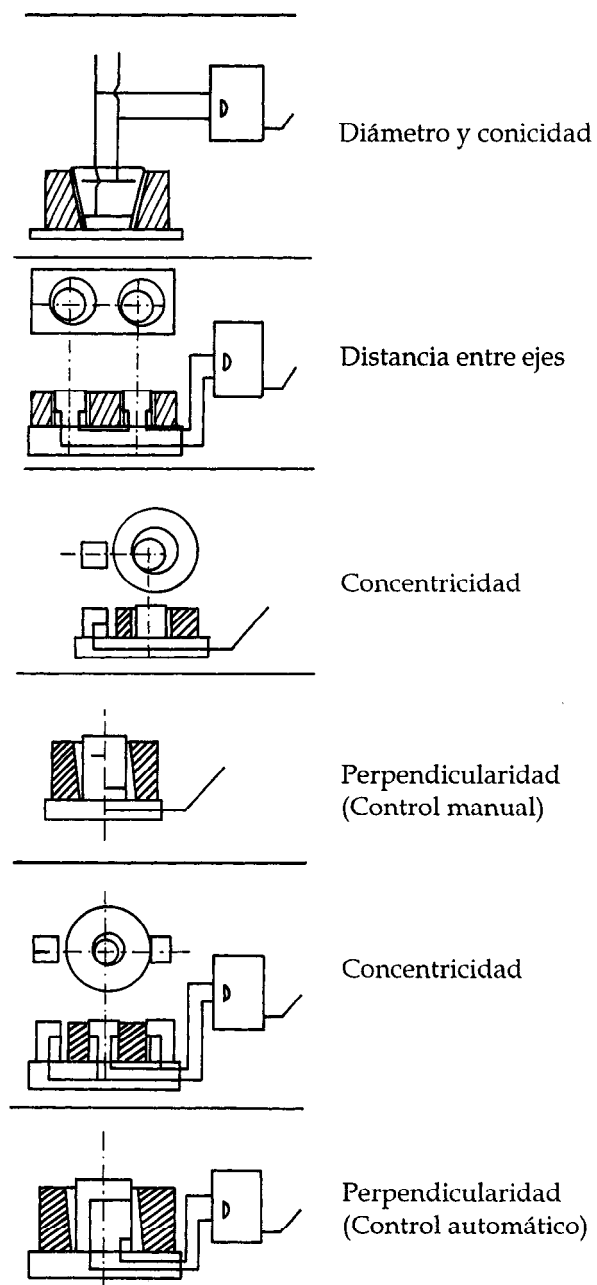
Diámetro promedio



Espesor y altura



Curvatura



## Instrumentos de medición de presión

### MANÓMETRO DE TUBO DE BOURDON

Este medidor de presión tiene una amplia variedad de aplicaciones para realizar mediciones de presión estática; es barato, consistente y se fabrica en diámetros de 2 pulg (50 mm) hasta 8.5 pulg (220 mm) en carátula y tienen una exactitud de hasta 0.1% de la lectura a escala plena; con frecuencia se emplea en el laboratorio como un patrón secundario de presión. Las figuras 19.1, 19.2 y 19.3 muestran la construcción de un manómetro con tubo Bourdon en los que la sección transversal del tubo es elíptica o rectangular y en forma de C. Cuando se aplica presión interna al tubo, éste se flexiona elástica y proporcionalmente a la presión y esa deformación se transmite a la cremallera y de ésta al piñón que hace girar a la aguja indicadora a través de su eje. Las escalas, exactitudes y modelos defieren de acuerdo con el diseño y aplicación, con lo que se busca un ajuste que dé linealidad óptima e histéresis mínima.

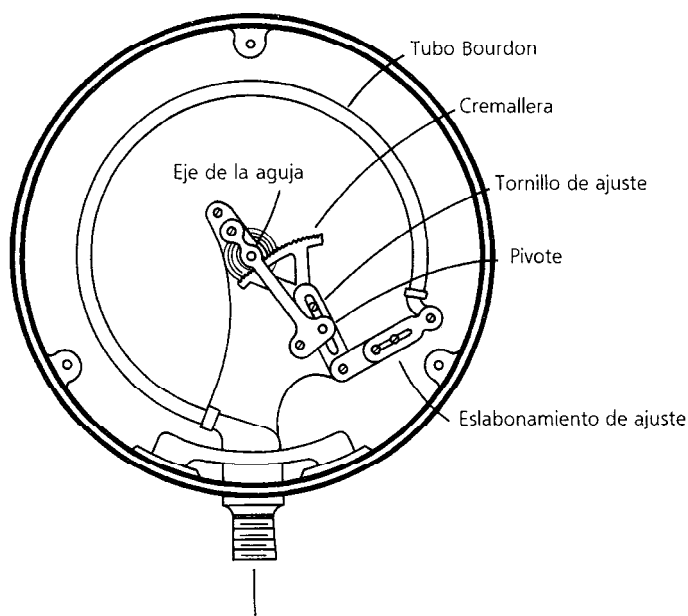
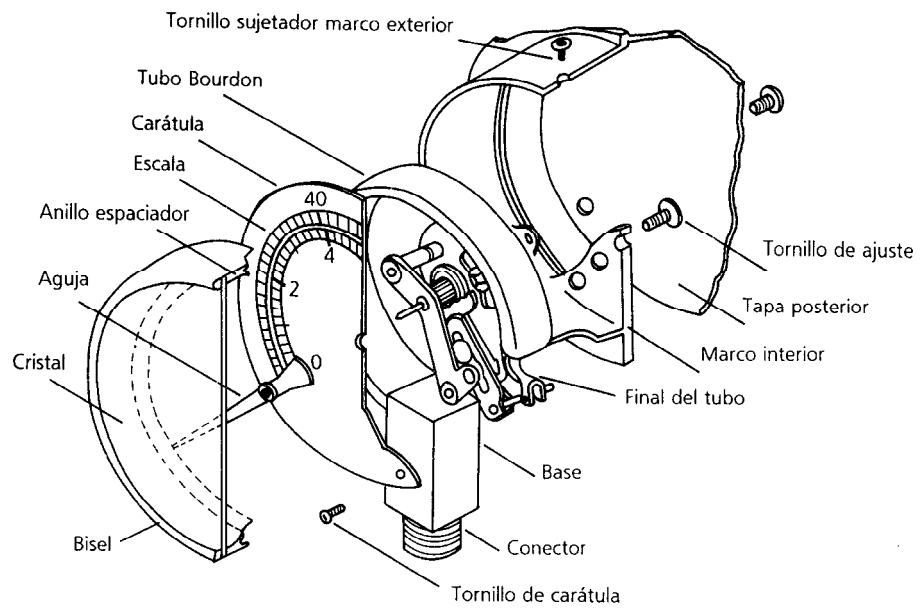
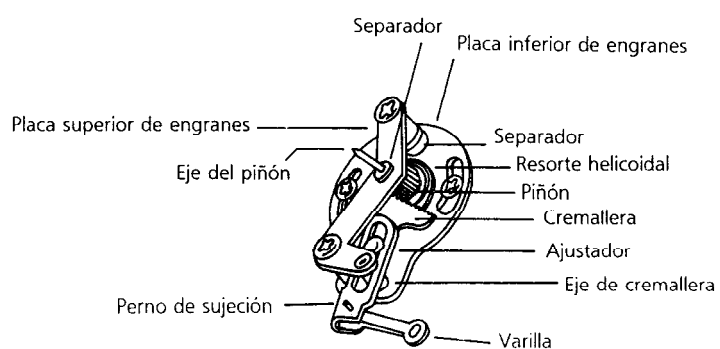


Figura 19.1.



**Figura 19.2.** Partes del manómetro de tubo de Bourdon.



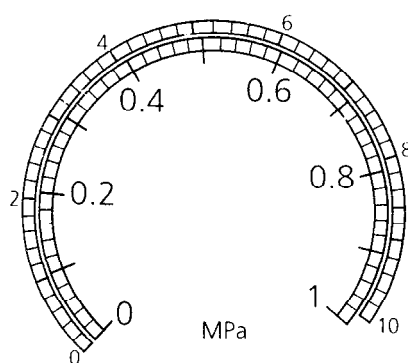
**Figura 19.3.** Mecanismo.

\* Ancho de las líneas de graduación.

Tabla de referencia

Unidad: mm

Tamaño	Ancho*
50	0.5
60	0.6
75	0.8
100	1
150	1.5
200	2



**Figura 19.4.** Carátula.

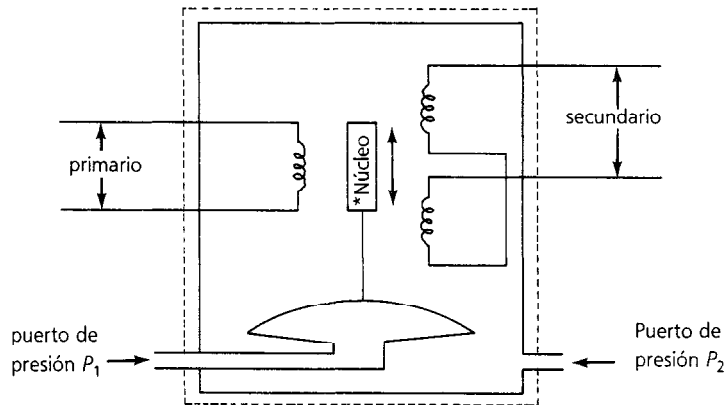
## Escala para medidores de presión

Unidad: kgf/cm <sup>2</sup> (MPa)		Escala
Tamaño	mm	
150	200	
1 (0.1) 10 (1)	1 (0.1) 10 (1)	kgf/cm <sup>2</sup> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 MPa 0 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.1
2 (0.2) 20 (2)	2 (0.2) 20 (2)	kgf/cm <sup>2</sup> 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 MPa 0 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10 0.12 0.14 0.16 0.18 0.2
4 (0.4)	4 (0.4)	kgf/cm <sup>2</sup> 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4
6 (0.6)	6 (0.6)	kgf/cm <sup>2</sup> 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6
15 (1.5)	15 (1.5)	kgf/cm <sup>2</sup> 0 3 6 9 12 15 0 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5
25 (2.5)	25 (2.5)	kgf/cm <sup>2</sup> 0 5 10 15 20 25 0 0.5 1 1.5 2 2.5

Escala para medidores de presión

Unidad: kgf/cm<sup>2</sup> (MPa)

Figura 19.5.



**Figura 19.6.** Manómetro de presión diferencial con diafragma y autotransportador.

### Manómetro diferencial

El movimiento del núcleo debido a la diferencia de presiones  $P_1$  y  $P_2$  hace que las espiras del transformador y el campo magnético entre primario y secundario\* se fortifique o se debilite, lo que permite realizar mediciones con manómetros comerciales de presiones hasta de 0.000035 psi (0.24 Pa). El principio eléctrico en el autotransformador está basado en las leyes de Faraday-Lenz del electromagnetismo.

\* Campo magnético entre primario y secundario: Enrollamientos de alambre de un transformador eléctrico que produce un campo magnético entre dichos enrollamientos al paso de la corriente eléctrica alterna.





## Termómetros

Existen diferentes formas y efectos para medir la temperatura, los principales son los efectos mecánico y eléctrico.

### BASES Y FUNDAMENTOS DE MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA POR EFECTOS MECÁNICOS

Los efectos mecánicos dependen del cambio físico (dimensión mecánica), ocasionado por un cambio de temperatura de algún material.

Los materiales encapsulados en vidrio son los que se han usado con mayor frecuencia para la fabricación de termómetros. En éstos el bulbo sensor contiene la mayor cantidad del líquido que cambiará de volumen, según haya incremento o decremento de la temperatura, con una correlación y regresión lineal. Los dos líquidos que se utilizan con mayor frecuencia son el alcohol y el mercurio. El alcohol tiene un coeficiente de expansión más alto que el mercurio, aunque su uso estará limitado sólo en bajas temperaturas, ya que herviría a altas temperaturas, por lo que da rangos de operación con buena linealidad, desde  $-30$  hasta  $150^{\circ}\text{C}$ , mientras que el rango del mercurio es de  $-30$  hasta  $360^{\circ}\text{C}$ .

Al referirnos a la norma industrial japonesa JIS B 7411 (1977), vemos que marca los siguientes puntos relacionados con termómetros de alcohol y mercurio.

#### 1. Alcance

Termómetros tipo inmersión total de bulbo, sensor líquido en vidrio con rangos de escala de  $-30$  hasta  $+360^{\circ}\text{C}$ .

#### 2. Definición de términos

*Inmersión total.* Mantener el termómetro inmerso hasta el tope de la columna del líquido en la temperatura que va a medirse.

*Líquido sensitivo de la temperatura.* El líquido que está contenido en el bulbo del termómetro para indicar en el tubo capilar la variación de temperatura que causa la expansión del líquido.

*Cambio secular.* El cambio en la indicación del termómetro a la temperatura de referencia en un lapso determinado. El cambio secular se debe a que el termómetro se encuentra inmerso en forma total en el medio que va a verificar con respecto a una temperatura de referencia y durante un lapso determinado.

*Error de escala.* El valor obtenido al sustraer el valor real de la temperatura del valor que indica el termómetro cuando se usa apropiadamente.

### 3. Clase de termómetro

La clase de termómetro, rango de escala, líquido actuante y designaciones como se especifica en la tabla 20-1.

**Tabla 20.1.**

<i>Clase</i>	<i>Rango de escala (°C)</i>	<i>Líquido sensible de la temperatura</i>	<i>Designación del termómetro</i>
Termómetro 50°C	-30 a +50	Mercurio	50M
		Alcohol	50A
Termómetro 100°C	-5 a +105	Mercurio	100M
		Alcohol	100A
Termómetro 150°C	-5 a +150	Mercurio	150M
		Alcohol	150A
Termómetro 200°C	-5 a +200	Mercurio	200M
Termómetro 250°C	-5 a +250		250M
Termómetro 300°C	-5 a +300		300M
Termómetro 360°C	-5 a +360		360M

### 4. Construcción y rendimiento

La construcción y el rendimiento del termómetro deberán cumplir con los requisitos de la tabla 20.2 y los siguientes:

- 1) El tubo de vidrio del termómetro tendrá una sección circular y un vidrio opaco posterior y deberá estar libre de los siguientes defectos:
  - a) Esfuerzos que produzcan la rotura del termómetro por calentamiento o impacto.
  - b) Burbujas e irregularidades que dificulten la lectura.
- 2) Cuando permanece en la máxima temperatura medible, el termómetro estará libre de interrupción de la columna del líquido, hervor, oxidación, evaporación, coagulación y formación de burbujas del líquido sensor de temperaturas, situaciones que provocan dificultades en la lectura.
- 3) El termómetro tendrá una cámara de expansión en la parte superior final del tubo capilar.
- 4) El tubo capilar deberá tener una pared tersa con una sección transversal uniforme y estará libre de los siguientes defectos:

- a) Dos o más tubos capilares que conduzcan a una indicación errónea.
  - b) Manchas notables en las paredes interiores del tubo capilar.
  - c) Ajuste o suma al final de la temperatura dentro del líquido sensitivo y la cámara de expansión para aparear la indicación correcta.
  - d) Humedad y suciedad en el tubo capilar.
- 5) La porción superior del termómetro deberá terminar en forma de anillo; el diámetro exterior de éste deberá ser menor que el diámetro del cuerpo del termómetro.
- 6) Las líneas de graduación del termómetro deberán marcarse bajo la condición de inmersión total y será indispensable cumplir con lo siguiente:
- a) Las líneas de graduación y marcas serán uniformes en cuanto a la apariencia y estarán libres de omisiones e inscripciones incorrectas.
  - b) Todas las líneas de graduación, números y letras deberán ser claras y bien marcadas para que duren; y el espesor de las líneas de graduación será uniforme y menor que un quinto del intervalo de graduación.
  - c) Todas las líneas de graduación y números serán marcados como se muestra en la figura 20.1. Las líneas deben ser perpendiculares al eje del termómetro y la longitud de la línea de cada  $5^{\circ}\text{C}$  será más larga que las otras. Los números de graduación serán colocados cada 10 o  $20^{\circ}\text{C}$ .

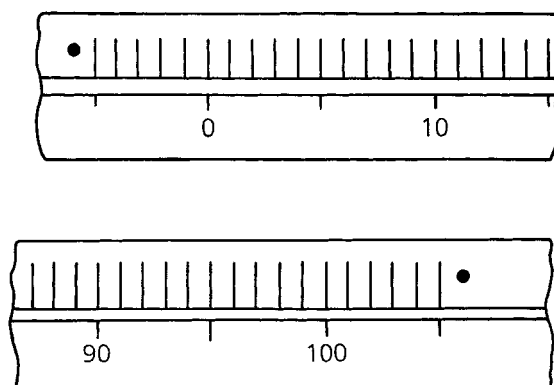


Figura 20.1.

- 7) La prueba para la estabilidad del bulbo será hecha de acuerdo con la tabla 20.2, el error de escala obtenido por la prueba no excederá la tolerancia sobre la graduación especificada en la misma tabla.



## 5. Material

El vidrio, el líquido actuante y el gas deberán cubrir los especificados a continuación:

- 1) El vidrio deberá tener el menor cambio secular y resistente a la acción química y el calor.
- 2) El líquido sensible a la temperatura permanecerá en estado líquido a cualquier temperatura dentro del rango de la escala y libre de cualquier cambio debido a impurezas, oxidación, decoloración y sedimentación.
- 3) El gas de relleno arriba del líquido sensible deberá ser seco e inerte.

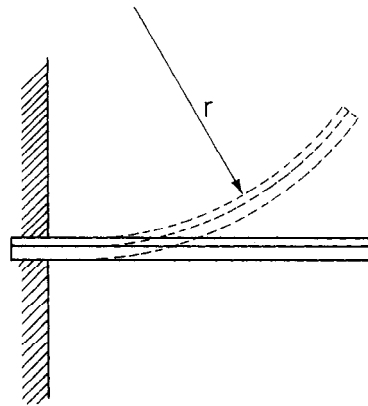
## 6. Inspección

La inspección del termómetro deberá realizarse considerando los siguientes factores: construcción, rendimiento, material y cubrir los requisitos especificados en los puntos 4 y 5.

## 7. Marcado

El termómetro será marcado en el cuerpo con las siguientes inscripciones:

- 1) Letra. "C"
- 2) Valor de la escala (valor de la división menor de la escala).
- 3) Designación del termómetro.
- 4) Año de manufactura.
- 5) Nombre y marca del fabricante.



**Figura 20.2.** Elemento bimetálico de efecto mecánico.

Otro termómetro para medir temperaturas por efecto mecánico, pero sin líquidos, es el tipo bimetal, en el cual se conectan dos piezas de metal de diferente coeficiente de expansión térmica como se muestra en las figuras 20.2 y 20.3.

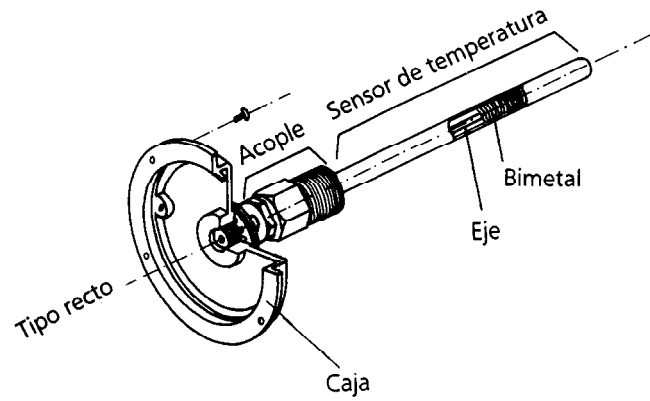


Figura 20.3. Nomenclatura tipo recto.

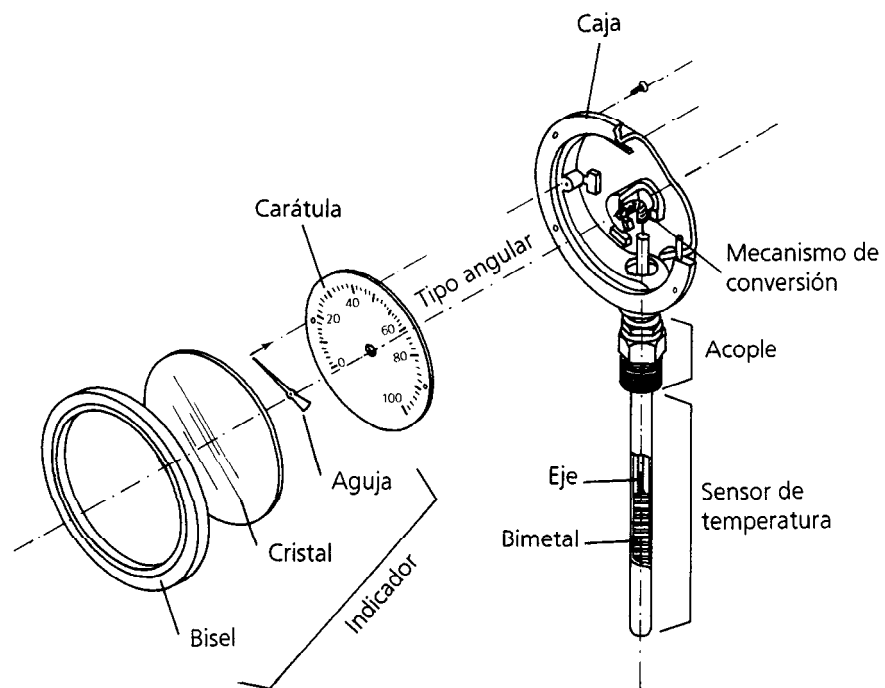


Figura 20.4. Nomenclatura tipo angular.



Cuando el elemento bimetálico de efecto mecánico se somete a una temperatura mayor a la que se hizo la liga, ésta se doblará en una dirección, pero si la temperatura es menor la deflexión será en la dirección contraria; en realidad toda la dificultad estará centrada en el mecanismo que convertirá este movimiento en el movimiento angular de una carátula y su aguja.

Estos termómetros indican la temperatura por medio de agujas rotativas debido a un sensor bimetálico que opera en un rango de  $-50$  hasta  $500^{\circ}\text{C}$ . El tamaño de los indicadores va desde 60 hasta 150 mm, sus errores permisibles son del orden de  $\pm 1\%$  al  $\pm 2\%$  a escala completa. Algunas de las características se muestran en las tablas 20.2 y 20.3 de la norma JIS (Norma Industrial Japonesa) JIS B 7542. La tabla 20.1 muestra las propiedades mecánicas y térmicas de algunos materiales usados en la unidad bimetálica.

**Tabla 20.3.**

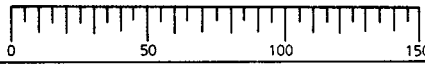
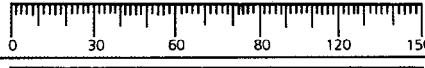

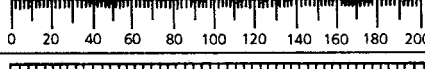
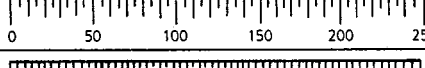
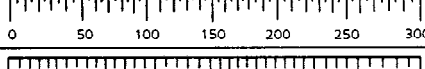
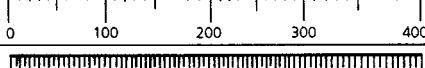
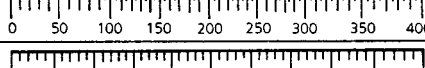
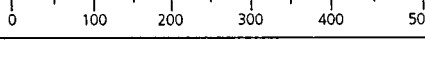
Material	Coefficiente de expansión térmica por $^{\circ}\text{C}$	Módulo de elasticidad psi	$\text{GN/m}^2$
Invar	$1.7 \times 10^{-6}$	$21.4 \times 10^6$	147
Latón amarillo	$2.01 \times 10^{-5}$	$14.0 \times 10^6$	96.5
Monel 400	$1.35 \times 10^{-5}$	$26.0 \times 10^6$	179
Inconel 702	$1.25 \times 10^{-5}$	$31.5 \times 10^6$	217
Acero inoxidable tipo 316	$1.6 \times 10^{-5}$	$28 \times 10^6$	193

**Tabla 20.4.** Clasificación por rango de medición

Rango de medición $^{\circ}\text{C}$	*	Escala y posición numérica	Tamaño del indicador mm			
			60	75	100	150
- 50 a 450	2		O	O	O	O
	1		-	-	O	O
- 30 a 450	2		O	O	O	O
	1		-	-	O	O
0 a 450	1		O	O	O	O
0 a 100	2		O	O	O	O
	1		-	-	O	O
0 a 120 <sup>(1)</sup>	2		O	O	O	O



**Tabla 20.4.** (Continuación)

0 a 150	5		O	O	O	O
	2		-	-	O	O
0 a 200	5		O	O	O	O
	2		-	-	O	O
0 a 250 <sup>(1)</sup>	5		O	O	O	O
0 a 300	5		O	O	O	O
0 a 400	10		O	O	O	O
	5		-	-	O	O
0 a 500	10		O	O	O	O

\* Intervalo de escala.

**Tabla 20.5.**

Tamaño del indicador Rango de medición °C	60	75	100	150
-50 a 50			± 2%, ± 1% para intervalo de escala 1°C	± 2%, ± 1% para intervalo de escala 1°C
-30 a 50				
0 a 50			± 2% o ± 1%	± 2% o ± 1%
0 a 100			± 2%, ± 1% para intervalo de escala de 1°C	± 2%, ± 1% para intervalo de escala de 1°C
0 a 150	± 2%	± 2%	± 2%, ± 1% para intervalo de escala de 2°C	± 2%, ± 1% para intervalo de escala de 2°C
0 a 200			± 2% o ± 1%	± 2% o ± 1%
0 a 300			± 2%, ± 1% para intervalo de escala de 5°C	± 2%, ± 1% para intervalo de escala de 5°C
0 a 400				
0 a 500			± 2% o ± 1%	± 2% o ± 1%

# Torquímetro y freno de Prony

## PAR MECÁNICO Y DEFINICIÓN DE TORSIÓN

Se dice que una barra está en torsión cuando está rígidamente sujeta en uno de sus extremos y torcida en el otro extremo por un par mecánico o torque [ $T (= Fd)$ ] aplicado en un plano perpendicular al eje de la barra.

## EFFECTOS DE LA TORSIÓN

Los efectos de una carga torsional aplicados a una barra son:

1. Impartir un desplazamiento angular en la sección transversal de un extremo con respecto al otro.
2. Registrar un esfuerzo cortante sobre cualquier sección transversal de la barra perpendicular a su eje.

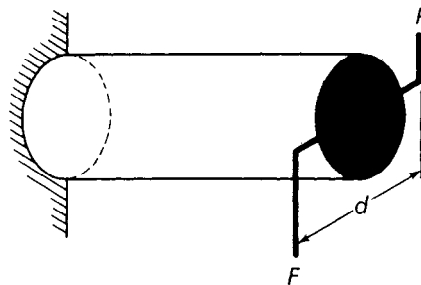


Figura 21.1.

## MOMENTO DE TORSIÓN

Ocasionalmente un número de pares actúan a lo largo de un eje. En ese caso es conveniente introducir una nueva cantidad. El momento de torsión para cualquier sección a lo largo de la barra se define como la suma algebraica de los momentos de los pares aplicados que yacen a un lado de la sección en cuestión. La elección del lado siempre es arbitraria.

## MOMENTO POLAR DE INERCIA

Para un eje circular hueco de un diámetro exterior  $D_o$ , y con un orificio circular concéntrico de diámetro  $D_i$ , el momento polar de inercia del área de sección transversal, usualmente es identificado por  $J$ , es

$$J = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4)$$

que desplegando algebraicamente son:

$$J = \frac{\pi}{32} (D_o^2 + D_i^2) (D_o^2 - D_i^2) = \frac{\pi}{32} (D_o^2 + D_i^2) (D_o + D_i) (D_o - D_i)$$

Esta fórmula es especialmente útil para tubos donde  $(D_o - D_i)$  es pequeña.

## ESFUERZO CORTANTE TORSIONAL

Ya sea sólido o hueco el eje circular sujeto a un momento de torsión  $T$ , el esfuerzo cortante torsional  $S_s$  a una distancia  $\rho$  del centro del eje está dado por:

$$S_s = \frac{T\rho}{J}$$

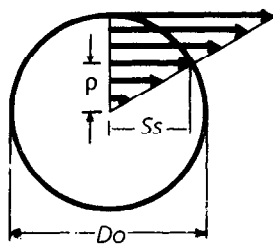


Figura 21.2.

## DEFORMACIÓN AL CORTE

Una línea generadora  $a - b$  marcada en la superficie de una barra sin carga se moverá a una posición como la mostrada  $a - b$  después de aplicar un momento de torsión  $T$ . El ángulo  $\gamma$ , medido en radianes, entre las posiciones final e inicial de la línea generadora se define como la deformación al corte en la superficie de la barra; la misma definición podría mantenerse en cualquier punto interior de la barra.

## MÓDULO CORTANTE DE ELASTICIDAD

La razón del esfuerzo cortante  $S_s$  entre el ángulo de deformación al corte  $\gamma$  es llamado el *módulo cortante de la elasticidad*  $G$ .

$$G = \frac{Ss}{\gamma}$$

### ÁNGULO DE TORSIÓN

Si un eje de longitud  $L$  está sujeto a un momento de torsión constante  $T$  a lo largo de su longitud.

Entonces el ángulo  $\theta$  en que un extremo de la barra se tuerce en forma relativa respecto al otro es:

$$\theta = \frac{TL}{GJ} = \frac{32 TL}{\pi G (D_o^4 - D_i^4)}$$

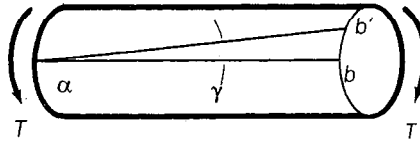


Figura 21.3.



Figura 21.4.

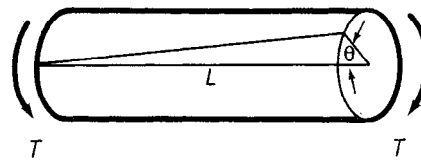


Figura 21.5.

### FRENO DE PRONY

Para medir el momento de torsión y la disipación de potencia se ha usado el freno de Prony (GCFM Riche, barón de Prony [1755-1839]). Éste se muestra en la figura 21.6. El par o momento de torsión ejercida en el freno del Prony lo da la fórmula  $T = FL$  y la potencia será  $P = \frac{2\pi TN}{33\,000}$  hp, donde  $T$  está en pie-libra-fuerza;  $N$  es la velocidad rotacional en revoluciones por minuto.

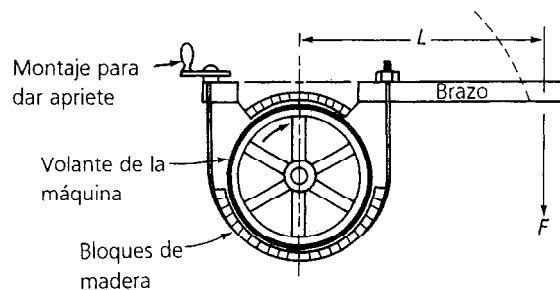


Figura 21.6.

### MEDIDORES DE DEFORMACIÓN CON RESISTENCIA ELÉCTRICA (*Strain gages*)

Estos medidores, también llamados banda extensométrica o calibradores, se acoplan a una de las resistencias de un circuito puente de determinación de resistencias y se adhieren con pegamento al material que se quiere verificar y con el cambio de tamaño o deformación cambia su resistencia, la cual se verifica en el puente.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$L$  = longitud

$A$  = área de sección transversal

$\rho$  = resistividad del material

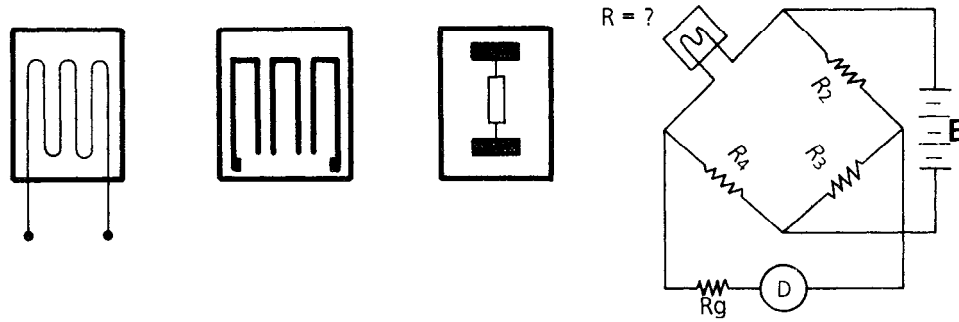


Figura 21.7.

Tabla 21.1. Características de algunos materiales usados en los medidores de deformación por resistencia

Material	Nombre comercial	Factor $F$ aprox. de medidor	Resistividad aproximada a 20 °C, $\mu \Omega\text{-cm}$	Coef. de temp. de la resistencia $^{\circ}\text{C}^{-1} \times 10^6$	Observaciones
55% Cu, 45% Ni	Advance, Constantán	2.0	49	11	$F$ constante en un margen amplio de deformación; uso a baja temperatura, menos de 360°C.
4% Ni, 12% Mn, 84% Cu	Manganin	0.47	44	20	Igual al anterior
80% Ni, 20% Cu	Nicromo V	2.0	108	400	Adecuado para uso en alta temperatura, hasta 800°C
36% Ni, 8% Cr, 0.5% Mo, 55.5% Fe	Isoelástico	3.5	110	450	Usado para baja temperatura, hasta 300°C
67% Ni, 33% Cu	Monel	1.9	40	1900	Útil a 750°C
74% Ni, 20% Cr, 3% Al, 3% Fe	Karma	2.4	125	20	Útil a 750°C
95% Pt, 5% Ir		5.0	24	1250	Útil a 1000°C
Semiconductor de silicio		- 100 a + 150	$10^9$	90 000	Frágil, pero tiene un alto factor de medidor; no es adecuado para medir grandes deformaciones



## Mediciones eléctricas básicas

### INTRODUCCIÓN

Los instrumentos metrológicos han evolucionado al mismo ritmo que la ciencia y la tecnología. La electricidad y la electrónica no han sido la excepción, y por lo tanto es necesario tener bases para fincar los conocimientos futuros, ya que hoy una gran mayoría de instrumentos pueden conectarse tanto a microprocesadores como a computadoras que manejan los datos adecuadamente, ya sea para retroalimentarlos a los procesos o para ayudarnos a tomar decisiones.

Los instrumentos más comúnmente usados son el amperímetro, el voltímetro y el ohmímetro. La construcción de estos aparatos es semejante y son modificaciones del básico instrumento llamado galvanómetro.

### GALVANÓMETRO

Básicamente, todos los instrumentos que requieran de un medio de interpretación de características físicas usan un galvanómetro. Éste lo diseñó el francés Arsen d'Arsonval en 1882 y lo llamó así en honor del científico italiano Galvani. En esencia, el medidor es un dispositivo que consta de un imán permanente y una bobina móvil.

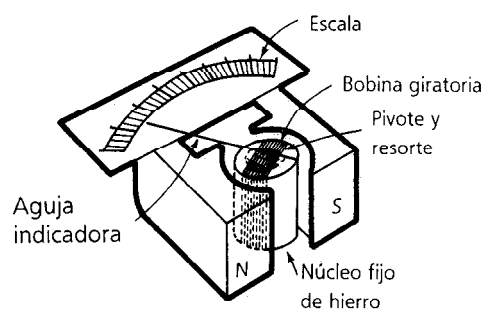
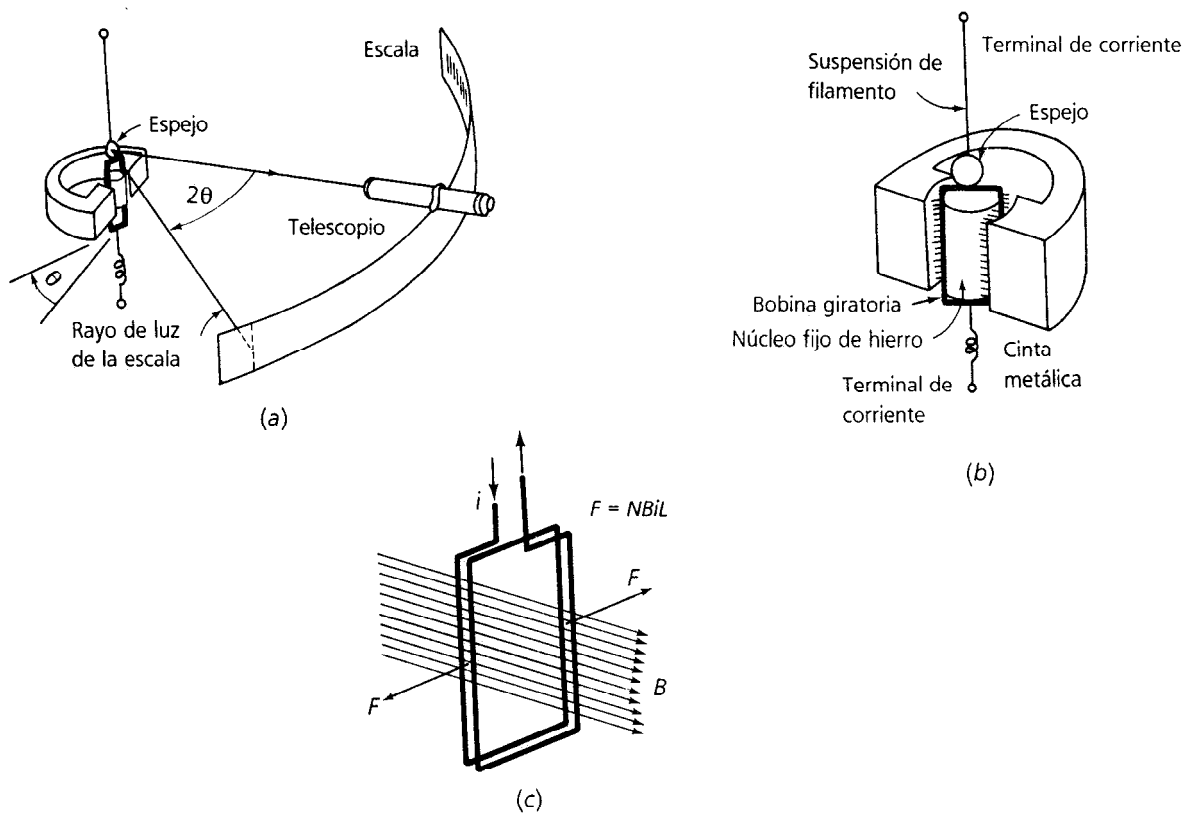
#### Galvanómetro D'Arsonval de bobina móvil

El medidor de bobina móvil funciona con base en el efecto electromagnético  $F = NBI L$ . En su forma más sencilla, el medidor de bobina móvil consta de una bobina de alambre muy fino devanado sobre un marco de aluminio ligero.

Un imán permanente rodea a la bobina y el marco de aluminio está montado sobre pivotes que posibilitan que gire libremente, junto con la bobina, entre los polos del imán permanente.

Cuando hay corriente en la bobina, ésta se magnetiza y su polaridad es tal que el campo del imán permanente la repele. Esto hace que el marco de la bobina gire sobre sus pivotes y cuánto lo haga depende de la cantidad de corriente que circule por la bobina. Así, al calibrar la aguja sobre el marco de la bobina y referirla a una escala calibrada en unidades de corriente, puede medirse la cantidad de corriente que circula a través del instrumento.



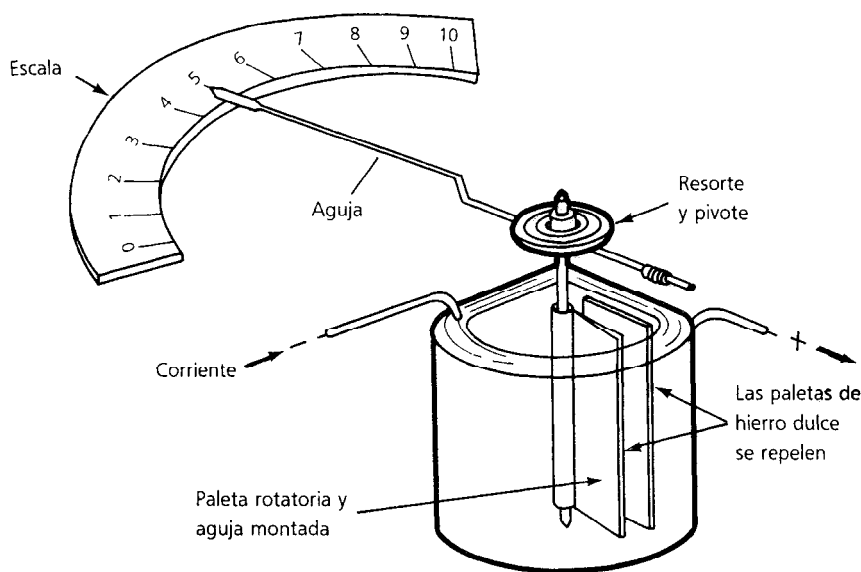


## Galvanómetro de hierro móvil

Cuando dos barras del mismo material se colocan paralelas y se introducen en un campo magnético, ambas se imantarán con las mismas polaridades, lo que origina que entre ellas se produzca una fuerza de repulsión. Este fenómeno se aplica a esta variación del galvanómetro.

Existen tres tipos que usan este principio: el de *paleta radial*, el de *álabes concéntricos* y el de *émbolo*.

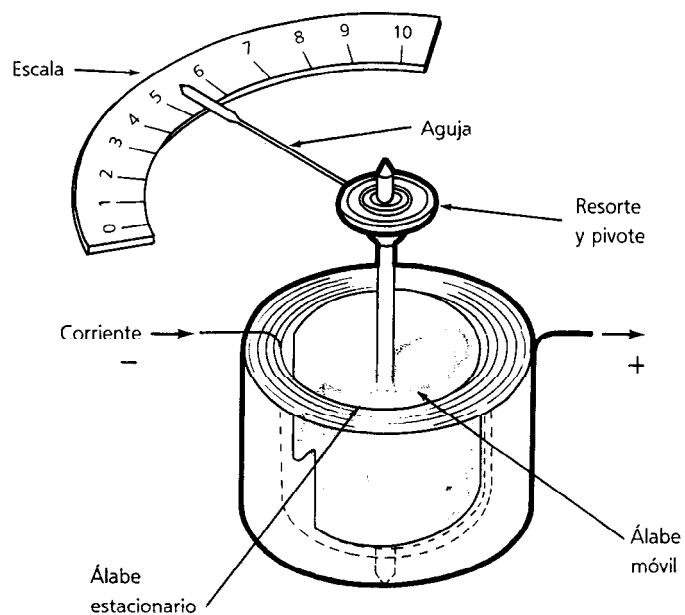
Como veremos en la figura 22.3, los medidores de paleta radial son piezas rectangulares que fueron introducidas como núcleo en una bobina. Una de las paletas está fija y la otra puede girar libremente mediante un dispositivo; además, a la paleta libre se le coloca la aguja marcadora de la magnitud proporcional a su movimiento, lo que ocasiona la repulsión con la que está fija.



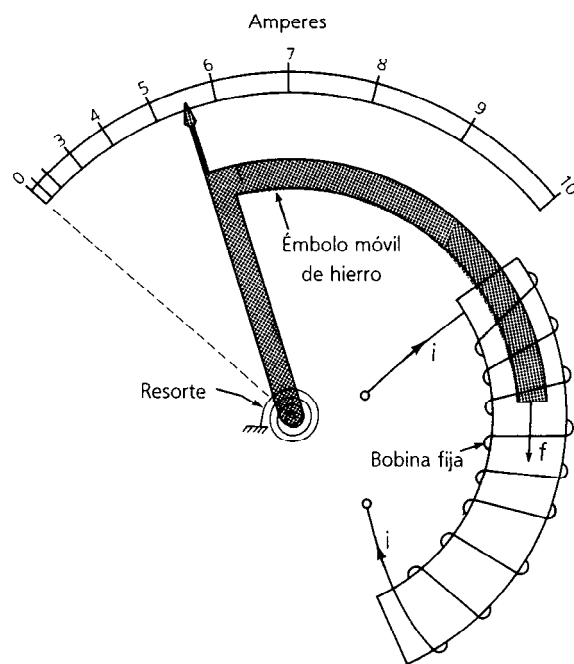
**Figura 22.3.** Galvanómetro de paleta radial.

El funcionamiento del medidor de álabes concéntricos es similar al de paletas, salvo la concentricidad de los álabes (Fig. 22.4). Éstos tendrán una mayor captación de campo magnético. Uno de ellos, el exterior, será fijo, y el del centro, móvil y contará con la aguja indicadora.

El otro tipo de émbolo móvil consiste en un núcleo móvil de hierro que está colocado, en su inicio, dentro de una bobina fija; en su extremo exterior se coloca la aguja indicadora. Cuando por la bobina circula corriente se forma el campo magnético y atrae al émbolo, la fuerza de atracción será proporcional a la corriente que produce el campo (Fig. 22.5).



**Figura 22.4.** Galvanómetro de álabes concéntricos.



**Figura 22.5.** Galvanómetro de émbolo.



El medidor que combina ambas formas (electromagnética y la térmica), es el "termopar". Como en el medidor térmico, el termopar alcanza una temperatura que depende de la cantidad de corriente que fluye. El alambre calienta a la unión del termopar, el cual origina una pequeña tensión *c-c* que impulsará una corriente por la bobina haciendo que se deflexione.

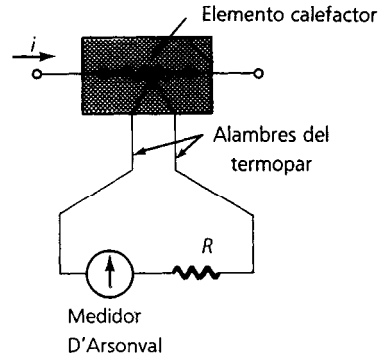


Figura 22.6. Medidor de termopar.

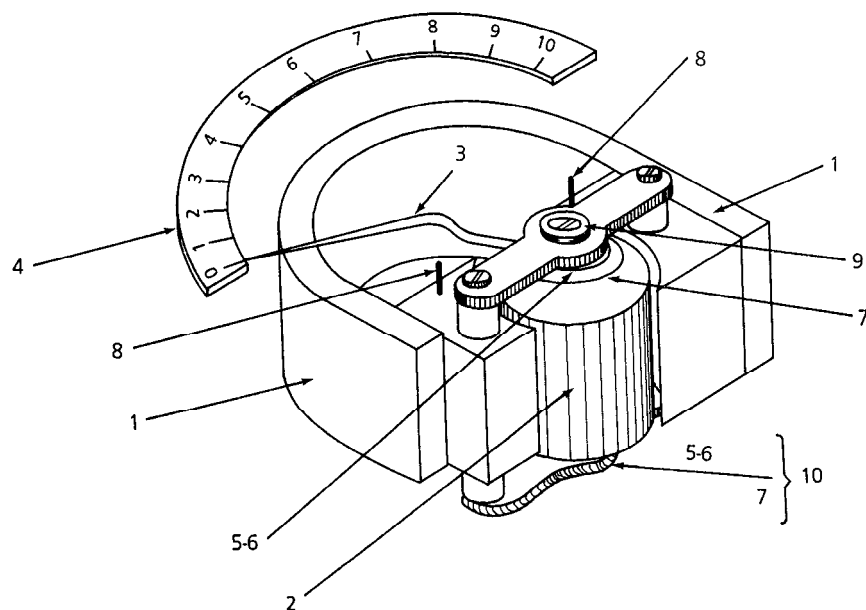
### Componentes de los galvanómetros

Todos los tipos de galvanómetros contienen básicamente todos estos elementos:

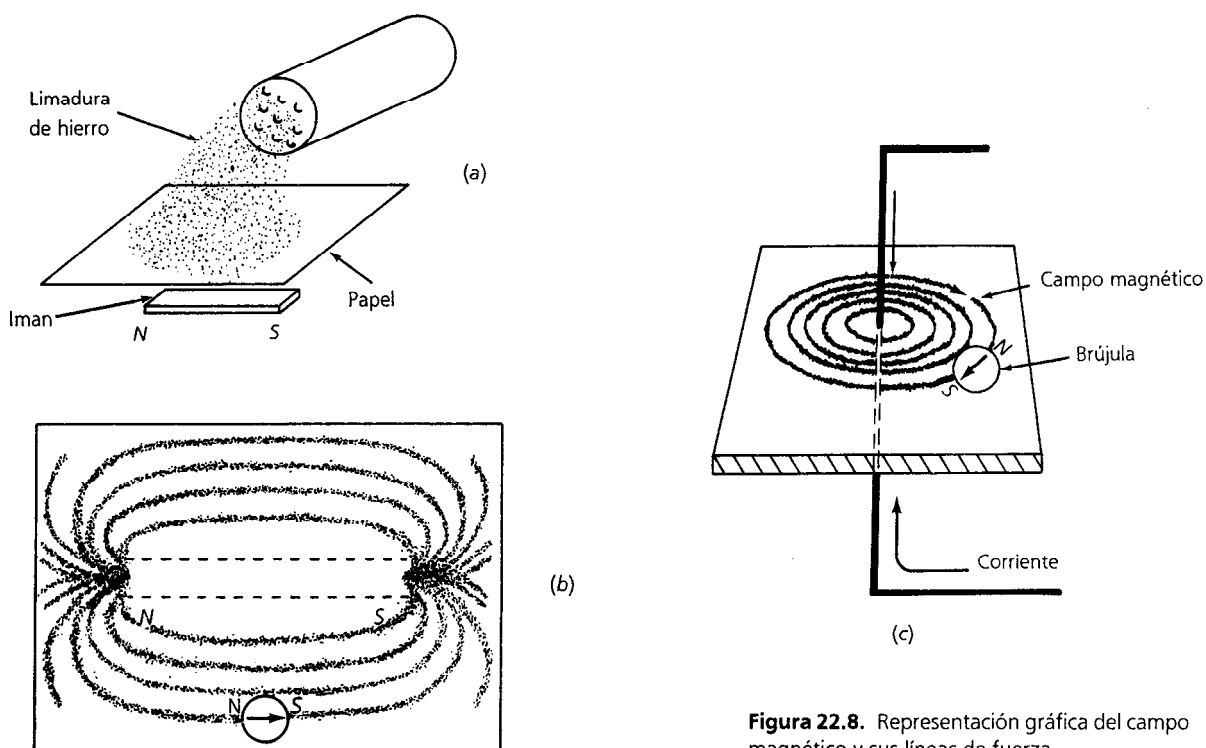
1. Imán permanente o imán temporal.
2. Bobinas móviles.
3. Aguja indicadora.
4. Escala en unidades según tipo de lecturas.
5. Pivotes.
6. Cojinetes.
7. Resortes.
8. Pernos de retención.
9. Tornillo de ajuste cero.
10. Mecanismo de amortiguamiento.

### Imanes

Uno de los efectos más familiares y más usados de la corriente eléctrica es su facultad de producir la fuerza que llamamos magnetismo. Esta fuerza es la que posibilita la operación de motores, generadores, instrumentos de medida eléctricos, equipos de comunicación, etcétera.



**Figura 22.7.** Partes del galvanómetro.



**Figura 22.8.** Representación gráfica del campo magnético y sus líneas de fuerza.

### Materiales magnéticos y procesos de imantación

Al hierro, níquel y algunos óxidos y aleaciones se les llama materiales magnéticos. Un imán, como ya dijimos, es un trozo de material magnético con dos polos. El proceso de imantación o de formación de polos se lleva a cabo colocando el material dentro de un solenoide por el que esté pasando una corriente o cerca de otro imán. El fenómeno que ocurre es un ordenamiento de las moléculas.

Si un imán se calienta o se golpea puede perder su propiedad de imantación, ya que sus moléculas vuelven a desordenarse. Si a un imán lo fraccionamos, cada fracción tomará su polaridad y será independiente en sus funciones (Fig. 22.9).

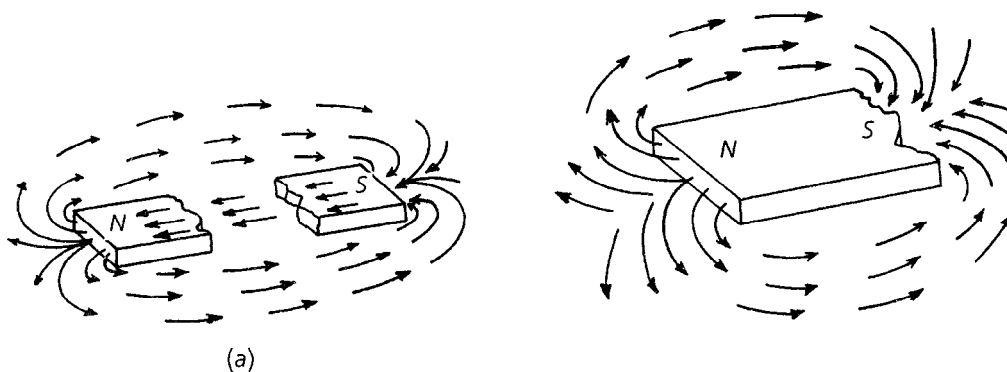


Figura 22.9. Seccionamiento de un imán.

Recientemente, las ideas anteriores han cambiando un poco por el descubrimiento de algunos materiales que tienen un poco de orden en el desarrollo magnético. Esta cualidad, sobre todo dentro del grano de cristal de hierro, tiene algunos miles de átomos que forman el llamado dominio magnético y que provocan este alineamiento molecular, lo que origina a los imanes permanentes.

La fuerza de atracción de un imán permanente es limitada, ya que cuando todos los átomos están perfectamente ordenados, orientados todos en la misma dirección, el imán alcanza su fuerza máxima; este punto se conoce como punto de "saturación".

La teoría nos dice que todos los electrones están, aparentemente, en un perpetuo y vertiginoso movimiento de rotación sobre sus propios ejes. Esta rotación es la razón por la que se dice que cada electrón es un diminuto imán permanente. En la mayoría de los átomos los electrones van en pares y giran en direcciones opuestas, es decir, sus polos norte y sur están tan cerca como es posible y sus efectos magnéticos se anulan, por lo que se refiere a tener un efecto distante. Por ejemplo, un átomo de hierro contiene 26 electrones, de los cuales 22 forman pares, girando en direcciones opuestas y anulando mutuamente

cualquier efecto magnético exterior. En la órbita de electrones que sigue al exterior, cuatro pares no se neutralizan, giran en la misma dirección y son responsables del carácter magnético de los átomos del hierro.

A las direcciones de rotación de los electrones en los átomos las afecta la temperatura y la presencia de otros átomos. A 750°C el hierro pierde su magnetismo debido a que se modifica la disposición de la rotación de los electrones.

Las aleaciones y compuestos muy magnéticos están formados por elementos que, cuando no están combinados, son poco magnéticos o son del todo antimagnéticos.

Como vemos, estas situaciones originan la clasificación de dos grupos: permanentes y temporales.

Los imanes permanentes conservan el arreglo atómico constante después de suprimir la fuerza magnetizante; pueden encontrarse en receptores telefónicos, bocinas, motores pequeños de corriente continua, instrumentos de medición, cierres de puertas, etcétera.

Durante años, el acero de alto carbono y unos cuantos aceros de aleación (de cobalto, molibdeno, cromo-tungsteno) eran los únicos con que podían fabricarse imanes permanentes. El más usual en la actualidad es la aleación llamada alnico (de aluminio, níquel, cobalto y hierro), la cual tiene una elevada potencia magnética.

Los imanes temporales son los más importantes, tanto por la cantidad de usos y aplicaciones como porque puede controlarse su poder magnetizante.

Los metales blandos son aquellos en los que los átomos que los componen se deslizan sin problemas, lo que permite desarreglarlos magnéticamente con facilidad. El material más usado es el hierro con silicio (con 2 a 4% de silicio), el cual se emplea en la mayoría de motores y generadores relevadores.

Otras aleaciones usadas son las siguientes:

Permalloy:	(78% níquel, 21% de hierro).
Permalloy 4:79:	(4% molibdeno, 79% níquel, 17% hierro).
Mumetal:	(75% níquel, 2% cromo, 5% cobre, 18% hierro).
Supermalloy:	(79% níquel, 5% molibdeno, 15% hierro).
Aleación 1040:	(72% níquel, 14% cobre, 3% molibdeno, 11% hierro).
Ferrita:	mezcla de óxido de hierro con otros óxidos de magnesio, cobalto, níquel, cobre o zinc, prensados y horneados.
Supermendur:	(2% vanadio, 49% hierro, 49% cobalto).
Sendust:	(85% hierro, 9.5% silicio, 5.5% aluminio).

### Relación del campo magnético y la dirección de corriente

Si un tramo de conductor por el cual circula una corriente produjera un campo magnético con la dirección mostrada en la figura 22.10 (indicación conocida como la regla de la mano izquierda), el dedo pulgar indicaría la dirección de la corriente y los otros dedos la dirección de las líneas de fuerza magnética. La figura 22.11 es la representación gráfica.

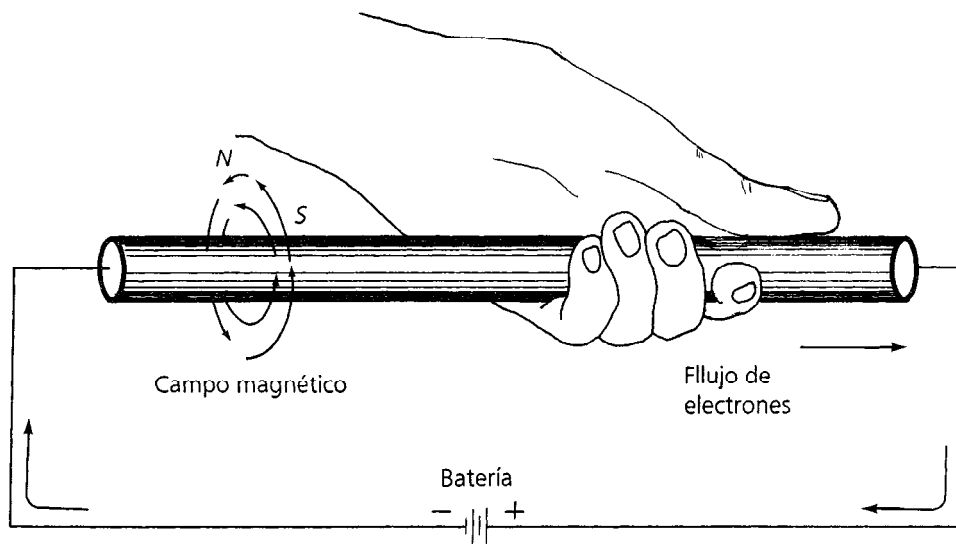


Figura 22.10. Regla de la mano izquierda.

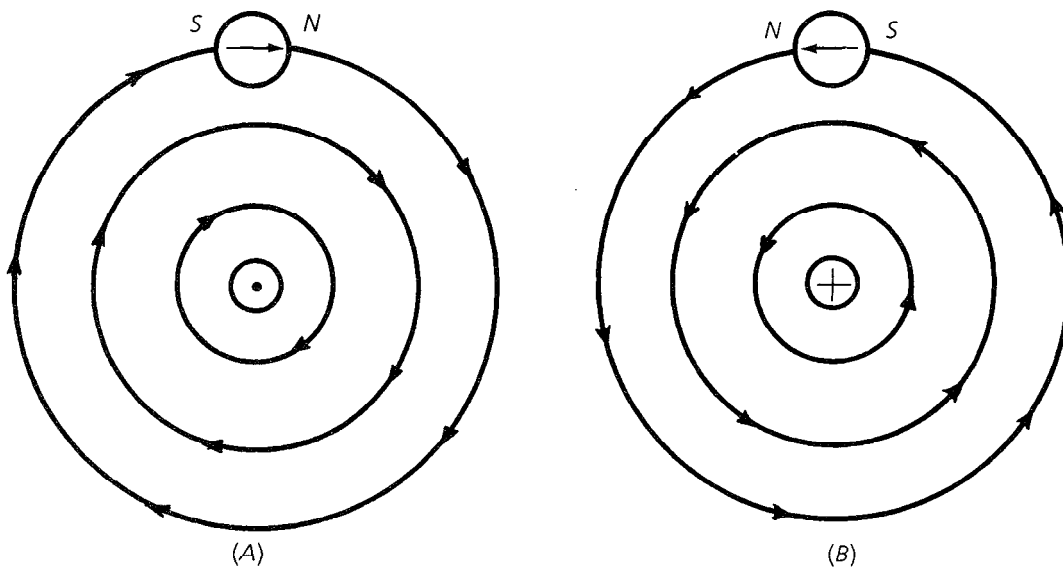
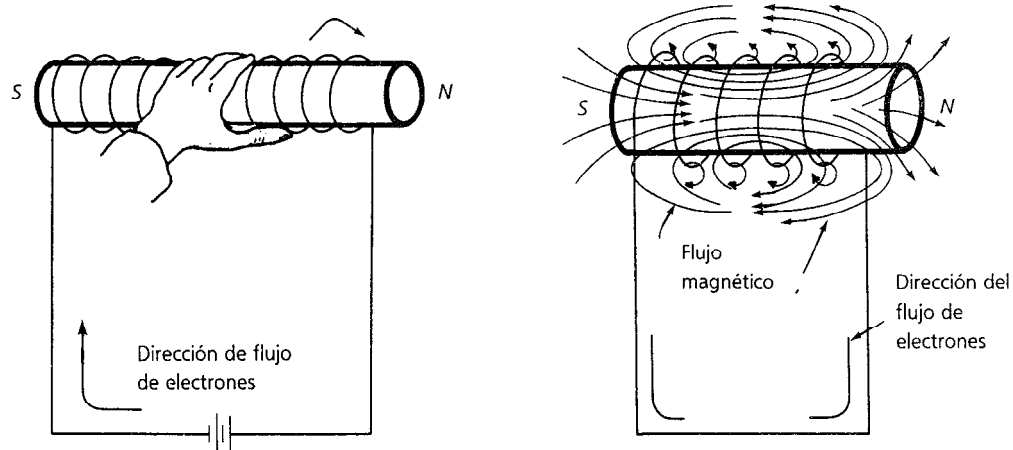


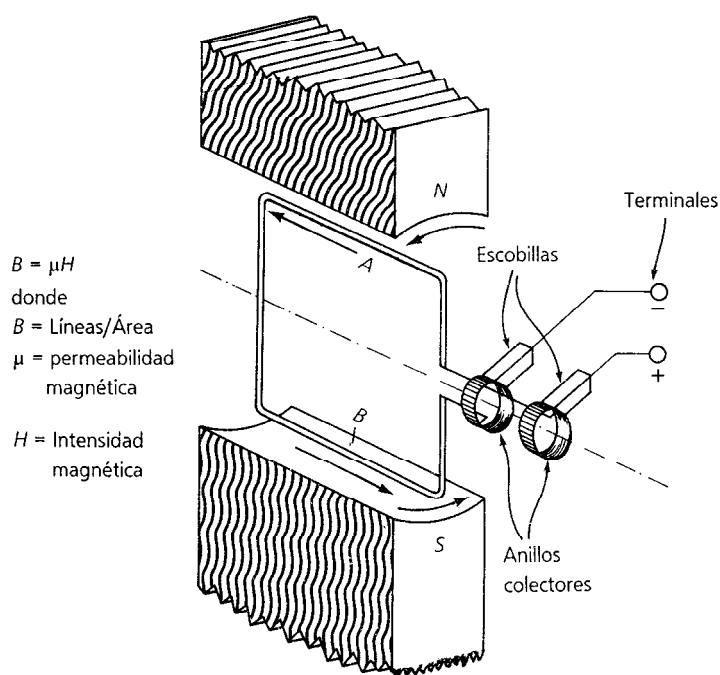
Figura 22.11. Representación gráfica.

Si este tramo de conductor fuera más largo, al enrollarlo en forma de solenoide tendríamos un campo de fuerza mucho más fuerte. Cuando los extremos del solenoide tienen el campo magnético también forman los polos norte y sur.





**Figura 22.12.** Solenoide a) con núcleo de hierro y núcleo de aire b).



**Figura 22.12a.** Alternador con campo magnético fijo y anillos colectores.

De esta manera obtenemos un campo magnético fuerte, pero el núcleo es de aire; si queremos reforzar este campo debemos agregarle un núcleo de hierro y obtendremos una valiosa concentración (Fig. 22.12a).

En el sistema métrico el término *gauss* equivale a líneas por centímetro cuadrado, a la cantidad de líneas por centímetro cuadrado se la conoce como "densidad de flujo", y flujo significa el número total de líneas de fuerza.

Uno de los tipos más empleados de núcleos es el núcleo laminado. La razón es que cuando circula una corriente por un conductor se genera una cierta cantidad de calor perjudicial para el campo magnético.

## Bobinas

Casi todos los mecanismos de los medidores contienen una bobina móvil, a través de la cual fluye la corriente que se va a medir. Para que la bobina gire fácilmente debe ser lo más ligera posible, por lo que se devana sobre un marco de aluminio.

La forma de la bobina dependerá del tipo de medidor, es decir; si es para bobina móvil lleva cuadro de aire o aluminio y alambre muy delgado y pocas vueltas. Si es para paletas radiales o álabes concéntricos tendrá muchas espiras y la forma depende de las paletas o los álabes.

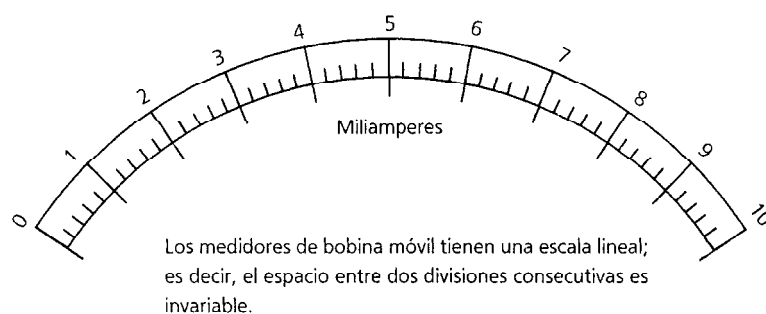
## Aguja indicadora

Esta parte se elabora con aluminio muy delgado y es imperativo que sea muy ligera para no restarle movimiento a la bobina móvil sobre la que está montada. Las agujas que se usan en la mayor parte de los medidores contienen, para equilibrarla, unos contrapesos. El balanceo normalmente se efectúa cuando ya está montada sobre los pivotes y cojinetes.

## Escalas

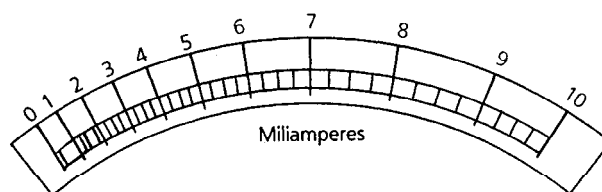
Los medidores de bobina móvil por lo general usan una graduación lineal en la escala, es decir, todas sus divisiones conservan la misma separación.

La distancia que la aguja recorre sobre la escala es directamente proporcional a la cantidad de corriente que fluye a través de la bobina del medidor (Fig. 22.13).



**Figura 22.13.** Escala lineal.

Las escalas de hierro móvil se gradúan en forma diferente ya que en estos casos la desviación de la aguja aumenta según el cuadrado de la corriente. Como la desviación no es lineal, la escala de un medidor de hierro móvil tampoco debe serlo. Los números en el extremo donde están los valores bajos de escala están aglomerados y se separan más en el otro extremo de valores altos (Fig. 22.14).



**Figura 22.14.** Escala no lineal.

Los medidores de hierro móvil tienen una escala no lineal; esto hace que los números en el extremo inferior de la escala estén aglomerados y sean difíciles de leer

### Pivotes, cojinetes

Las partes rotatorias de cualquier medidor deben girar en la forma más libre que sea posible para que puedan medirse corrientes muy pequeñas. Para reducir al mínimo la fricción, el eje sobre el que están montadas las partes giratorias tiene pivotes de acero endurecido en ambos extremos para que puedan girar fácilmente. Los pivotes están montados en cojinetes de rubíes sintéticos para reducir aún más la fricción.

### Resortes

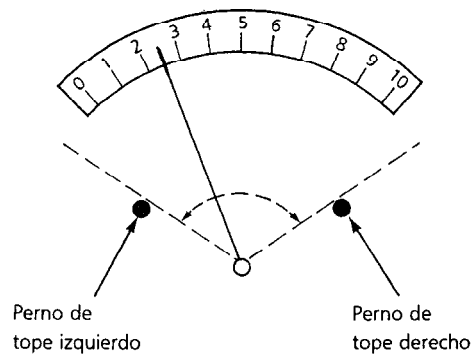
Durante la medición la aguja debe indicar la cantidad de corriente que fluye por su circuito, pero cuando se la retira, o sea, cuando cesa el paso de corriente la aguja debe regresar a su posición de reposo. Este movimiento se controla por medio de resortes instalados en el mecanismo del medidor. Cada medidor usa dos resortes que están enrollados en sentidos opuestos. La razón es que al dilatarse el material o al contraerse, según la temperatura, los resortes actuarían paralelamente en la misma dirección.

### Pernos

Los pernos de retención evitan o le ponen tope al mínimo y máximo movimiento de deflexión de la aguja, evitando así una posible rotura por rebasar su rango de trabajo o polaridad.

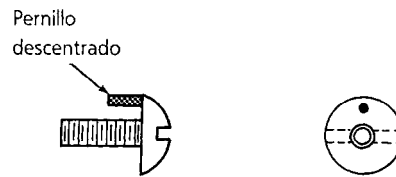
### Tornillo de ajuste a cero

Los resortes controlan la rotación de la aguja del medidor y se enrollan en sentido opuesto con el fin de mantener la aguja en posición de reposo a cero, pero sus



**Figura 22.15.** Pernos tope.

cualidades varían con el tiempo. Ésta es la razón para usar el tornillo de ajuste a cero, con él se aumenta o resta tensión a los resortes (Fig. 22.16).



**Figura 22.16.** Tornillo de ajuste a cero.

## LEY DE OHM

La relación entre  $E$ ,  $I$  y  $R$  la observó primero George Ohm, en 1827, y ahora se llama ley de Ohm. En su honor la unidad de resistencia es el ohm y matemáticamente es igual a

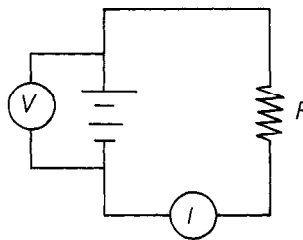
$$I = \frac{E}{R}$$

donde

$I$  = corriente en amperes

$E$  = voltaje aplicado en volts

$R$  = la resistencia del circuito en ohms



**Figura 22.17.** Circuito eléctrico.

La unidad de resistencia llamada ohm está definida como la oposición presentada a la circulación de una corriente de un ampere bajo una tensión o diferencia de potencial de un volt.

La unidad de potencia, el watt, queda definido como el producto  $E \times I$ , entonces

$$W = E \times I$$

$$\text{Watts} = \text{volts} \times \text{amperes}$$

y la relación de las dos últimas ecuaciones nos da como resultado lo que muestra la figura 18.

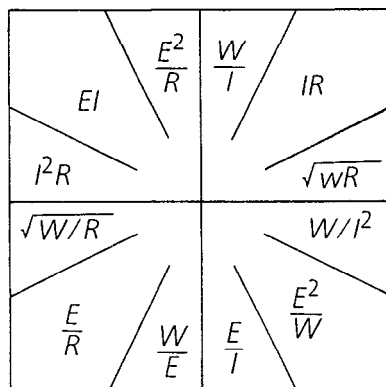


Figura 22.18. Relaciones eléctricas E, I, R, W

## AMPERÍMETROS

El amperímetro es una aplicación natural del galvanómetro.

Normalmente la bobina del galvanómetro se construye con alambre muy delgado y hasta un máximo de vueltas, lo que origina sus limitaciones.

Los amperímetros se dividen por su capacidad de medición en:

Amperímetros (amperes)

Miliamperímetros (milésimas de amperes)

Microamperímetros (millonésimos de amperes)

Pero aun dentro de cualquiera de estas capacidades tendrán limitaciones debidas al método con que se construyen. Por lo que es necesario ampliar sus rangos de operación o respuesta.

Cada dispositivo tiene una corriente característica para su deflexión total que en lo general no debe exceder a un miliampere. Para poder medir corrientes mayores habrá que reducir su sensibilidad con resistencias en paralelo que desvíen en forma proporcional el exceso de corriente.

Para calcular el valor de dicha resistencia debemos conocer, además de la corriente para plena escala, su resistencia o su caída de voltaje. Conocer la caída de voltaje (directamente o por cálculo) para plena escala implica que también se sabe cuál es la resistencia derivadora dada su conexión en paralelo. Por ejemplo, un medidor de  $500\ \mu\text{A}$  con  $4\ \text{K}\Omega$  desea emplearse para medir hasta  $10\ \text{mA}$ . La caída a escala total será:

$$\begin{aligned} E &= IR \\ E &= .000500 \times 4000 \\ E &= 2\ \text{volts} \end{aligned}$$

La desviación de corriente será la diferencia entre rangos de corriente:

$$10\ \text{mA} - 500\ \mu\text{A} = 9.50\ \text{mA}$$

entonces el valor de  $R$  será  $R = E/I$

$$R = \frac{2}{.00950} = R = 210\ \text{ohms}$$

prácticamente  $= 210\ \Omega$

Su potencia en watts será  $W = E \times I$

$$\begin{aligned} W &= 2 \times .0095 \\ W &= .019\ \text{watts} \\ &= 19\ \text{mW} \end{aligned}$$

Es necesario entender que un galvanómetro o miliamperímetro siempre debe conectarse en paralelo con la resistencia derivadora por la que circulará la mayor cantidad de corriente y que este par de elementos deberá estar en serie. Cualquier amperímetro se conecta para verificar la corriente de un circuito (Fig. 22.19), por lo que de estas aplicaciones se deduce que un miliamperímetro lo podemos usar para diferentes rangos de corriente conectando tantas resistencias como rangos necesitemos.

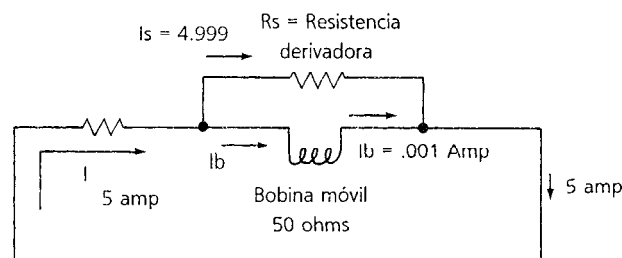


Figura 22.19. Corrientes en la bobina y en la resistencia derivadora.

Estas aplicaciones son válidas para corriente directa, si la corriente fuera alterna, a miliamperímetro o galvanómetro debe precederlos un circuito puente rectificador que haga la conversión de la corriente. Aunque la corriente cambie de dirección, como es el caso, siempre pasará a través del medidor en el mismo sentido.

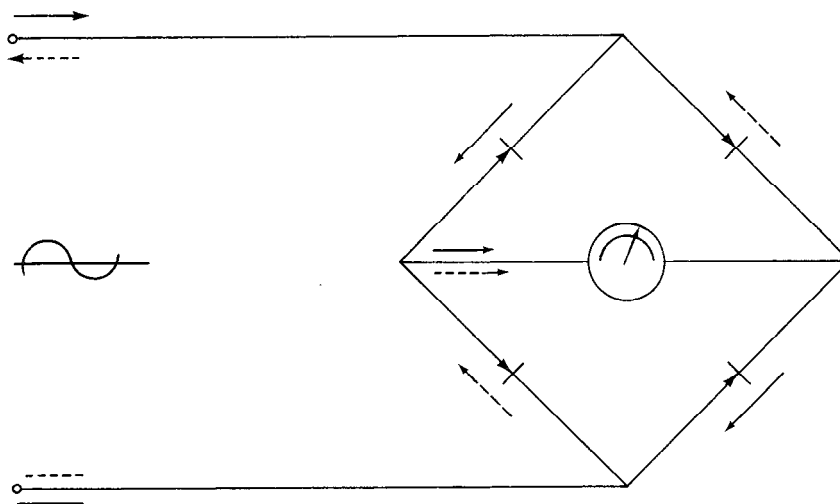


Figura 22.20. Circuito puente rectificador para medir corriente alterna.

Para altas frecuencias se utiliza un alambre calefactor unido a un termopar, el cual envía una señal de corriente directa al medidor; el calor será proporcional a la corriente medida.

La finalidad al utilizar un amperímetro es medir la corriente que pasa por alguna pieza de un equipo eléctrico. La corriente del equipo debe pasar también por el medidor, por tanto, el amperímetro debe conectarse siempre en *serie* como el componente o equipo sometido a medición.

### Representación de valores

Las unidades eléctricas fundamentales, esto es el ampere y el volt, se basan en corriente continua. Por lo tanto, se tuvo que deducir un método para relacionar corriente alterna con corriente continua. Tanto la corriente como el voltaje se representan con ondas sinusoidales, lo que a su vez nos permite analizar los valores característicos de cada uno.

1. *Valor pico*. Es el valor máximo alcanzado por la onda sinusoidal.
2. *Valor medio*. El de una tensión o una corriente alterna es el promedio de todos los valores instantáneos durante medio ciclo. Puesto que durante medio ciclo la tensión o la corriente aumentan de cero al valor pico y luego disminuyen a cero, el valor promedio debe encontrarse en algún punto entre cero y el valor

pico. Para una onda sinusoidal pura, que es la forma de onda común en los circuitos C.A., el valor promedio es 0.637 veces el valor pico.

$$E_{\text{medio}} = 0.637 \text{ valor pico}$$

$$I_{\text{medio}} = 0.637 \text{ valor pico}$$

en porcentaje queda expresado como el 63.7% del valor pico.

Este valor se obtiene sumando todas las amplitudes de la senoide para el medio ciclo positivo o para los dos ciclos, tomando sus valores absolutos y dividiendo dicha suma entre el número de amplitudes como se hace a continuación. *Nota:* En este caso es grado a grado el valor de la amplitud de la senoide (en otras palabras, una integración).

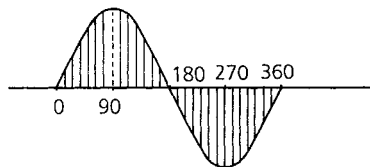


Figura 22.21. Abscisas de la senoide

0	1.745241E-02	.0348995	5.233596E-02	6.975648E-02
8.715574E-02	.1045285	.1218693	.1391731	.1563345
.1736482	.190809	.2079117	.2249511	.2419219
.2588191	.2756374	.2923718	.309017	.3255682
.3420202	.3583679	.3746066	.3907311	.4067367
.4226182	.4383711	.4539905	.4694715	.4848096
.5	.5150381	.5299193	.5446391	.559193
.5735765	.5877853	.6018151	.6156616	.6293205
.6427878	.6560591	.6691308	.6819986	.6946586
.707107	.71934	.731354	.7431451	.7547098
.7660447	.7771463	.7880111	.7986358	.8090173
.8191524	.8290379	.838671	.8480484	.8571676
.8660257	.87462	.8829479	.8910068	.8987944
.9063081	.9135458	.9205051	.9271841	.9335808
.9396929	.9455188	.9510568	.9563051	.961262
.9659261	.970296	.9743703	.9781478	.9816274
.9848079	.9876885	.9902682	.9925462	.9945221
.9961948	.9975641	.9986296	.9993909	.9998478



$$\Sigma = 56.79432504$$

$$\Sigma \times 4 = 227.1772002$$

$$\text{Más el valor de } 90^\circ \text{ y } 270^\circ \quad 227.1772002 + 2 = 229.1772002$$

$$\text{Valor medio} = \frac{229.1773002}{360} = 0.366036$$

$$\approx 0.367$$

3. *Valor efectivo* (rcm). El valor efectivo también es conocido como el valor de raíz cuadrático medio, y es igual a la raíz cuadrada del valor medio de los cuadrados de todos los valores instantáneos de corriente o tensión.

$$RCM = \sqrt{\frac{Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 + \dots + Y_n^2}{n}}$$

Para la senoide

$$RCM = \sqrt{\frac{0^2 + (1)^2 + (0)^2 + (-1)^2}{4}}$$

$$= \sqrt{\frac{2}{4}} = \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1.4142} = 0.7071$$

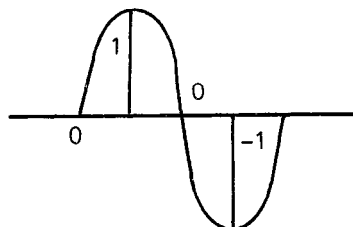


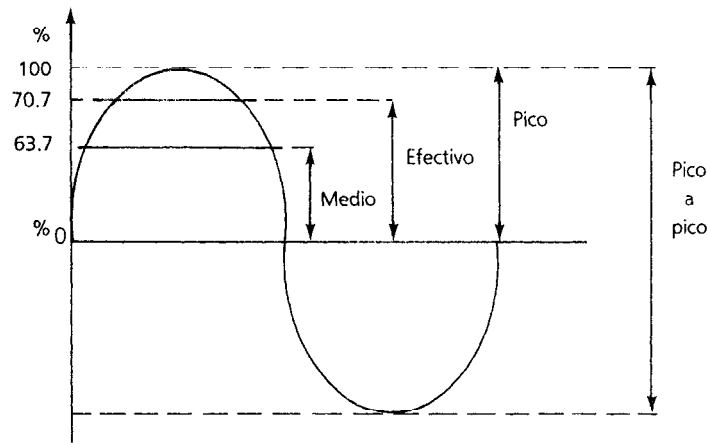
Figura 22.22. Abscisas de la senoide.

En una onda sinusoidal pura el valor efectivo es 0.707 veces el valor pico.

$$E_{\text{efectivo}} = .7071 \text{ pico} \quad I_{\text{efectivo}} = .7071 \text{ pico}$$

en porcentaje queda expresado como el 70.71% del valor pico.





**Figura 22.23.** Curva sinusoidal.

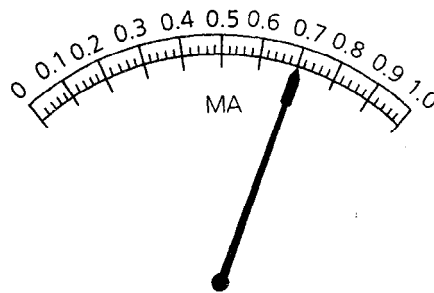
**Tabla 22.1.** Factores de equivalencia.

De \ Para	Pico	Efectivo	Promedio	Pico a pico
Pico	$\times 1.000$	$\times 0.707$	$\times 0.637$	$\times 2.00$
Efectivo	$\times 1.414$	$\times 1.00$	$\times 0.901$	$\times 2.829$
Promedio	$\times 1.570$	$\times 1.110$	$\times 1.00$	$\times 3.140$
Pico-pico	$\times 0.50$	$\times 0.354$	$\times 0.319$	$\times 1.00$

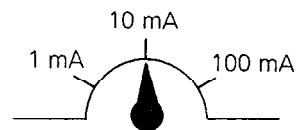
### Lecturas de las escalas

No implica ningún problema leer el valor de una medición en la escala única, puesto que el medidor sólo mide un rango de corriente, como puede apreciarse en la figura 22.24. Sin embargo, algunos medidores de corriente de alcance múltiple miden varios rangos de corriente con sus respectivas escalas, por lo que debe tenerse cuidado al leer en la escala seleccionada (Fig. 22.25).

Algunos medidores de corriente de rango múltiple sólo tienen un grupo de valores marcados en la escala



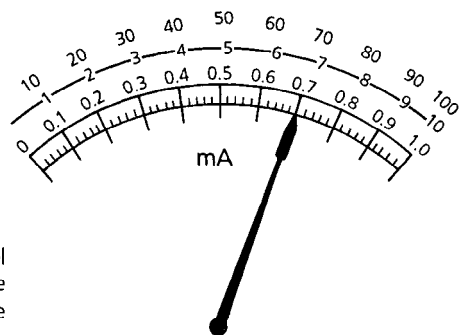
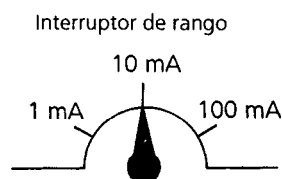
Interruptor de rango



Para determinar la corriente que pasa en el circuito, hay que multiplicar la lectura de la escala por el ajuste del interruptor de rango, corriente =  $0.7 \times 10 \text{ mA} = 7 \text{ mA}$

**Figura 22.24.** Escala única de diferentes rangos.

Algunos medidores de corriente de rango múltiple tienen un conjunto de valores para cada posición del interruptor



Para determinar la corriente que pasa en el circuito, se lee la escala del medidor que corresponde a la posición del interruptor de rango: corriente = 7 mA

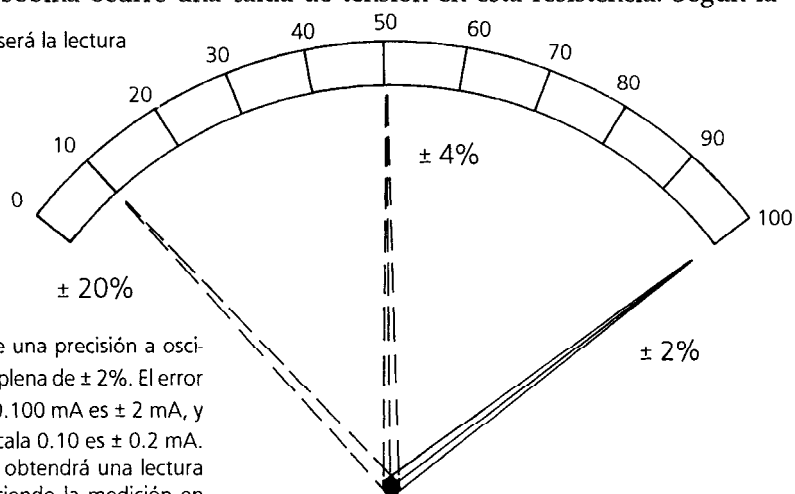
**Figura 22.25.** Escalas múltiples para rangos diferentes.

Aunque la corriente que fluye en un circuito puede leerse en cualquier parte de la escala del medidor, el valor será más preciso si la lectura está más cerca de su oscilación total. La precisión siempre está dada a plena escala, aproximadamente sobre  $\pm 2\%$ , por lo que una lectura lejana o a una tercera parte del total de la escala tendrá un porcentaje de error de precisión mayor (Fig. 22.26).

### Voltímetros

Un medidor básico, o sea un galvanómetro, es útil también para medir voltajes, ya que la bobina tiene una resistencia fija y por lo tanto cuando fluye corriente a través de la bobina ocurre una caída de tensión en esta resistencia. Según la

Mientras mayor sea la oscilación más precisa será la lectura



El medidor tiene una precisión a oscilación de escala plena de  $\pm 2\%$ . El error en la escala de 0.100 mA es  $\pm 2$  mA, y el error en la escala 0.10 es  $\pm 0.2$  mA. Por lo tanto, se obtendrá una lectura más precisa haciendo la medición en la escala que de la oscilación máxima. Para una lectura de 5 mA, convendrá usar la escala de 0.10

**Figura 22.26.** Porcentajes de precisión.

ecuación de Ohm, la caída de tensión será proporcional a la corriente que fluye a través de la bobina.

Nótese pues que la tensión en la bobina es proporcional a la corriente que fluye en ella. Además, esta corriente es proporcional al voltaje aplicado a la bobina; por lo tanto, la escala la calibramos en unidades de voltaje y no en unidades de corriente.

Aunque el medidor de corriente también puede medir voltaje, su utilidad está restringida por la limitación que presenta por la bobina del galvanómetro debido a que tiene una resistencia muy baja. Por estas razones es obligatorio modificar el galvanómetro en un voltímetro de rangos múltiples. Estas resistencias se denominan resistencias multiplicadoras.

Veamos la figura 22.27 donde tenemos un voltímetro con tres diferentes rangos y el cálculo de las resistencias multiplicadoras.

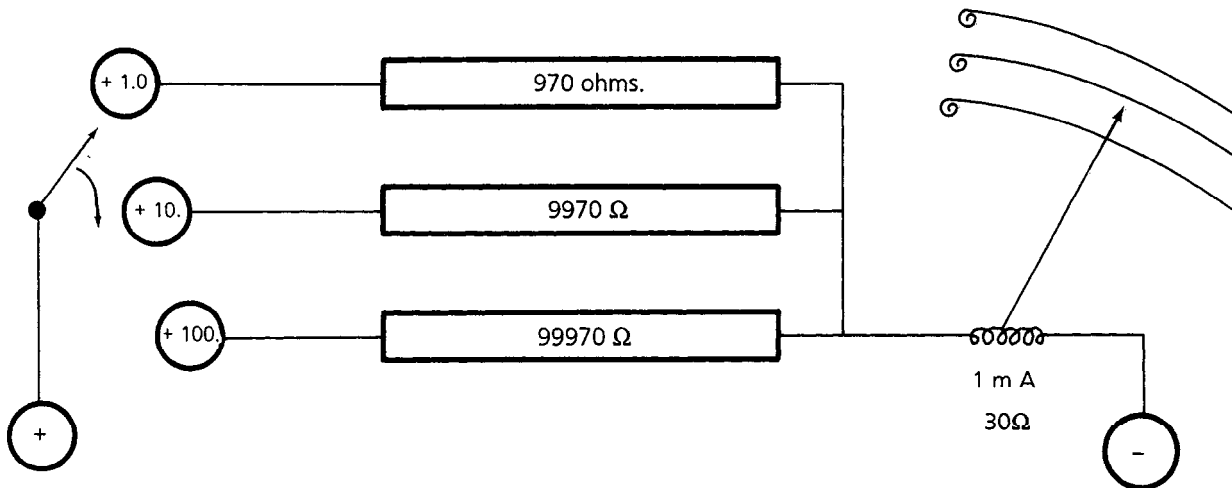


Figura 22.27. Voltímetro de rangos múltiples.

Si elegimos el rango de +1.0 volts

$$R = \frac{E}{I} : R = \frac{1.0}{.001} = 1000 \Omega$$

Al restar la resistencia interna de la bobina móvil se obtiene  $1000 - 30 = 970 \Omega$ , valor de la resistencia multiplicadora.

En la escala de 10 volts

$$R = \frac{10}{.001} = 10\,000 \Omega$$

Si se resta la resistencia de la bobina el resultado es  $10\,000 - 30 = 9970$  y en la escala de 100 volts

$$R = \frac{100}{.001} = 100\,000\ \Omega$$

Al restar la resistencia de la bobina se tiene  $100\,000 - 30 = 99\,970$  ohms.

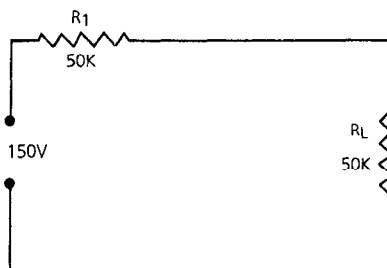
### Efecto de carga

El verdadero sentido del término *sensibilidad* corresponde a la influencia que el medidor tendrá sobre el voltaje por medir, ya que no existe una fuente de poder en el voltímetro, la corriente requerida para mover la aguja deberá proporcionarla el circuito bajo prueba; el medidor aparecerá como una carga adicional.

Los ohms por volt especificados no hacen más que señalar la resistencia que presenta el medidor en sus diversos rangos.

Por ejemplo: 20 000 ohms/volt corresponden a 20 K $\Omega$  para rango de 1 volt, 200 K $\Omega$  para el de 10 volts y 2 M $\Omega$  para 100 volts. Para comprender mejor esto se analizarán tres voltímetros con sensibilidad diferente pero trabajando en las mismas condiciones (Fig. 22.27).

Ejemplo Fig. 22.27.



Teóricamente:

$$R_L = 50\text{ K}\Omega$$

$$I = E/R_T$$

$$E = I \cdot R_L$$

$$R_T = R_1 + R_L$$

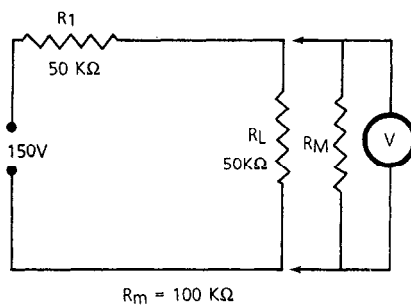
$$I = 150/100\text{ K}\Omega$$

$$E = .0015 \times 50\text{ K}$$

$$R_T = 100\text{ K}\Omega$$

$$I = .0015\text{ A}$$

$$E = 75\text{ V}$$



$$R_M = 100\text{ K}\Omega$$

Voltímetro 1000  $\Omega$ /Volt.

$$R_P = \frac{R_L \times R_M}{R_L + R_M}$$

$$I = E/R_T$$

$$E = I \cdot R_P$$

$$R_P = \frac{50\text{ K}\Omega \times 100\text{ K}\Omega}{50\text{ K}\Omega + 100\text{ K}\Omega}$$

$$I = 150/83.3\text{ K}\Omega$$

$$E = .0018 \times 33.3\text{ K}$$

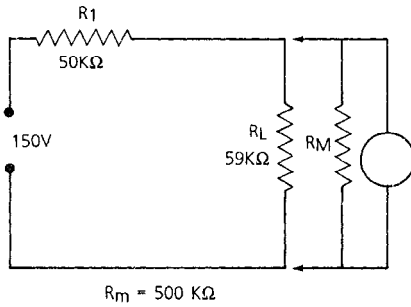
$$R_P = 33.3\text{ K}\Omega$$

$$I = .0018\text{ A}$$

$$E = 59.96\text{ V}$$

$$R_T = 83.3\text{ K}\Omega$$

Ejemplo Fig. 22.27. (cont.).

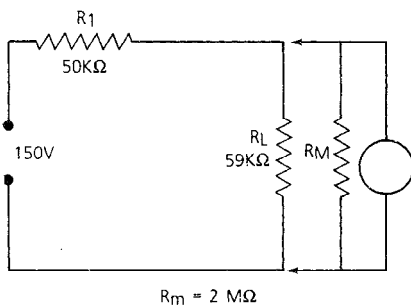
Voltímetro 5000  $\Omega$ /Volt.

$$R_p = \frac{R_L \times R_M}{R_L + R_M} \quad I = E/R_T \quad E = I \cdot R_p$$

$$R_p = \frac{50 \text{ K}\Omega \times 500 \text{ K}\Omega}{50 \text{ K}\Omega + 500 \text{ K}\Omega} \quad I = 150/95.4 \text{ K}\Omega \quad E = .00157 \times 45.4$$

$$R_p = 45.4 \text{ K}\Omega \quad I = .00157 \text{ A} \quad \underline{E = 71.38 \text{ V}}$$

$$R_T = 95.4 \text{ K}\Omega$$

Voltímetro 20000  $\Omega$ /Volt.

$$R_p = \frac{R_L \times R_M}{R_L + R_M} \quad I = E/R_T \quad E = I \cdot R_p$$

$$R_p = \frac{50 \text{ K}\Omega \times 2 \text{ M}\Omega}{50 \text{ K}\Omega + 2 \text{ M}\Omega} \quad I = 150/98.8 \text{ K}\Omega \quad E = .00151 \times 48.8 \text{ K}$$

$$R_p = 48.8 \text{ K}\Omega \quad I = .00151 \text{ A} \quad \underline{E = 74.08 \text{ V}}$$

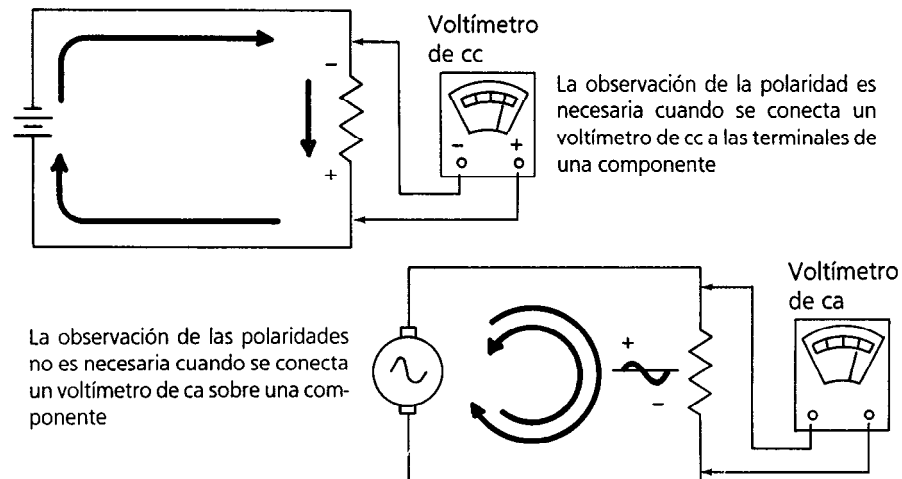
$$R_T = 98.8 \text{ K}\Omega$$

En la escala de 100 V, la resistencia que presenta el medidor de 1000  $\Omega$ /V es 100 K $\Omega$ , que se muestra en paralelo a un medidor ideal (con resistencia infinita). En forma similar, el de 5000  $\Omega$ /V presenta 500 K $\Omega$  y el de 20 000  $\Omega$ /V presenta 2 M $\Omega$ . Estas resistencias se combinan en paralelo con la del circuito, lo que reduce su valor y alteran las condiciones originales. Como se puede observar, el medidor menos sensible ocasiona un error en la lectura del 20%, el intermedio uno del 4.8% y el de mejor sensibilidad tiene un 1.33%. Esto muestra que el efecto de carga o la alteración del voltaje por medir es menor para mayores sensibilidades; también puede notarse que el efecto de carga no es considerable cuando la resistencia del medidor es mucho mayor que la del circuito donde se toma la lectura, independientemente de la sensibilidad del medidor.

### Conexión de un voltímetro

Los voltímetros deben usarse en paralelo con el componente del circuito que requiera medición. A diferencia del medidor de corriente, el voltímetro está menos expuesto a dañarse si se llegara a conectar equivocadamente. En los rangos más altos, la corriente que fluye a través del medidor se reduce en forma

considerable debido a su alta resistencia total inherente. Sin embargo, la lectura resultará errónea si se conecta el voltímetro en serie con el componente del circuito en lugar de conectarlo correctamente en paralelo.



**Figura 22.28.** Voltímetro en cc. y ca.

Cuando se conecta un voltímetro a una cc, siempre debe observarse la polaridad correcta. La terminal negativa del instrumento debe conectarse a la punta negativa o de potencial bajo del componente y la terminal positiva al positivo.

Si no se respeta esta condición, la bobina del medidor se moverá hacia la izquierda y la aguja podría doblarse al golpear el perno de retención izquierdo. En cambio, cuando se conecta a un componente alimentado por ca, la tensión continuamente invierte su polaridad, por lo tanto, en este caso no se considera la polaridad, sólo habrá que colocar el *switch* selector de funciones en la posición correcta.

### Escalas de voltímetros

Algunos voltímetros multirrangos sólo tienen un rango de valores marcado en la escala, por consiguiente la lectura debe multiplicarse por la indicación del interruptor de rango. Otros tienen rangos separados en la escala para cada posición de rango y solamente requiere tener cuidado para leer en la escala correcta. Al igual que en los amperímetros, el porcentaje del error está sobre un  $\pm 2\%$  a plena escala.



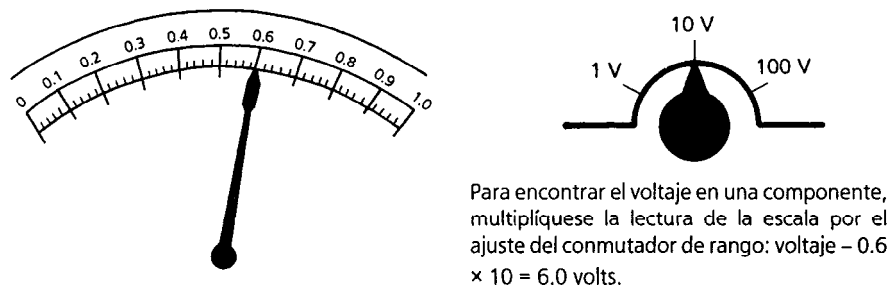
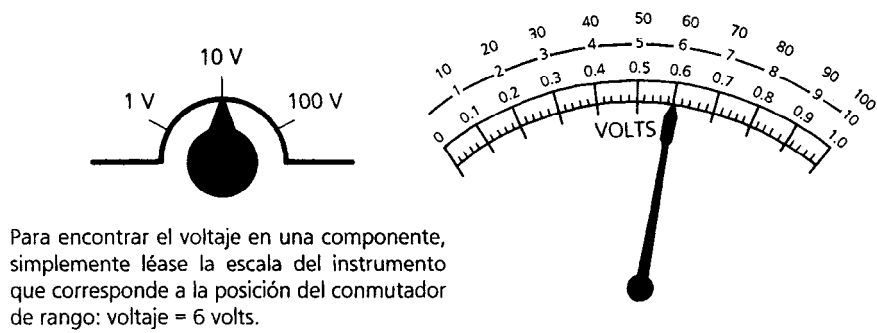


Figura 22.29. Escalas de voltímetros.

## ÓHMETROS

El óhmetro es otro dispositivo de medición muy importante, ya que ayuda a localizar circuitos abiertos o cortocircuitos midiendo la resistencia del componente o circuito bajo prueba.

Básicamente, el óhmetro contiene una fuente de baja corriente (galvanómetro) continua, una fuente de baja tensión y baja potencia de cc, resistores limitadores de corriente, todos conectados en serie, y una resistencia variable para compensar el decaimiento de la fuente; esta resistencia es la que se denomina control de ajuste a cero ohms.

La unión de las dos puntas de prueba cierra el circuito, por medio de la resistencia de  $6\text{ K}\Omega$ , lo que equilibrará el circuito para que pase  $50\text{ }\mu\text{A}$  por el medidor; como ésta es la máxima corriente permitida para máxima deflexión de la aguja el medidor nos indicará cero resistencia (Fig. 22.30).



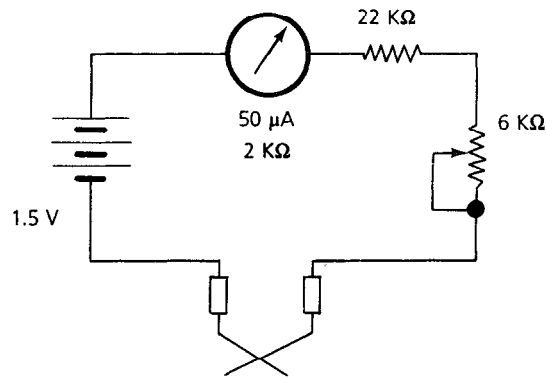


Figura 22.30.

Por lo tanto, cuando se coloque una resistencia desconocida ésta provocará una disminución de corriente y ocasionará una deflexión menor de la aguja. Si se usa la figura 22.31 y para ejemplificar un galvanómetro (miliamperímetro) que tenga como valor un miliampere para máxima deflexión de aguja, la escala nos quedaría como se muestra.

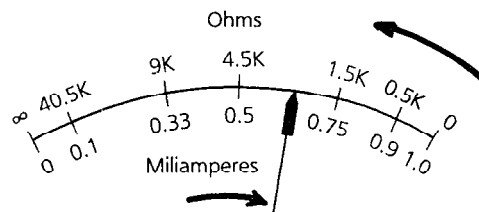


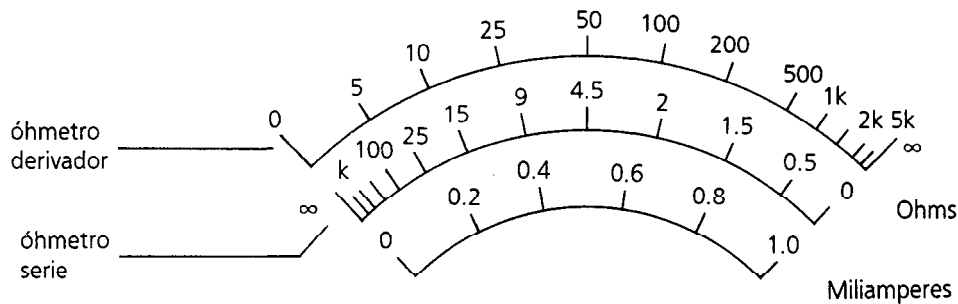
Figura 22.31. Escala de un óhmetro relacionada a miliamperes.

Esta condición hace que la escala no sea lineal y que en el extremo de baja resistencia se aglomeren las divisiones indicadoras; en consecuencia, el cero siempre estará en el extremo derecho y la resistencia mayor al lado izquierdo, generalmente indicada con el símbolo de infinito ( $\infty$ ).

El otro tipo de óhmetro se llama óhmetro con derivador y se comporta como un medidor de corriente con resistor derivado. La corriente se divide en relación inversamente proporcional a la resistencia del medidor y a la resistencia desconocida. Por ejemplo, si el medidor es de 1 miliampere y 50 ohms y medimos una resistencia de 100 ohms, por la resistencia de 100 ohms pasará, en proporción un  $1/3$  de miliampere y por la resistencia (50 ohms) pasarán  $2/3$  de miliampere, y como la escala se recorre totalmente cuando pasa 1 miliampere, en este caso solamente se deflexionará  $2/3$  partes.

Ahora bien, si la resistencia problema fuera de 50 ohms, la corriente total se dividiría a la mitad y daría una lectura de media escala. A diferencia del otro óhmetro-serie, el cero resistencia queda al lado izquierdo y el de máxima, al

derecho y el agrupamiento de valores. En la figura 22.32 vemos estas diferencias entre los dos tipos de óhmetros y miliamperes.



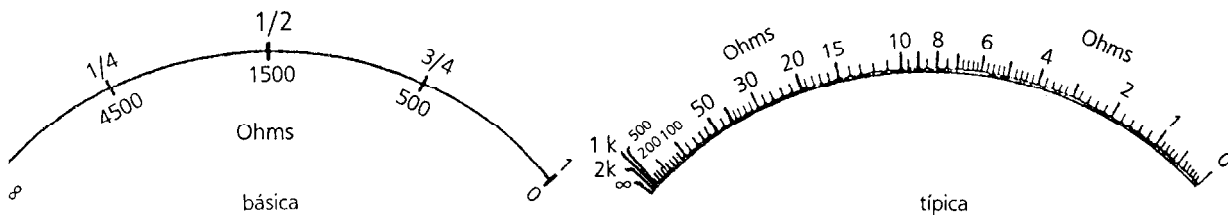
**Figura 22.32.** Comparación de escalas de óhmetros.

Otra diferencia consiste en el consumo de energía; en el óhmetro con derivación siempre está circulando corriente, en cambio el tipo serie solamente consume energía cuando intercalamos algo entre sus puntas.

## Escalas de óhmetros

Las escalas de los óhmetros son bastante diferentes; en primer lugar, las lecturas van de cero a infinito en vez de cero a cualquier valor. Además, el espaciamiento no es lineal, la selección de rangos se realiza por multiplicadores ( $R \times 1$ ,  $R \times 10$ ,  $R \times 100$ , etc.) y no con valores a escala total; además casi siempre la numeración va en sentido inverso (de derecha a izquierda).

Ante la falta de linealidad en la escala, las lecturas deben tomarse en la parte más adecuada de la misma. Una regla sencilla consiste en sólo emplear al área de la escala entre 1/10 y 10 veces el valor medio; por tanto, la escala básica que se muestra a continuación sólo es conveniente para lecturas entre 150 y 15 000  $\Omega$  (y sus múltiplos correspondientes).



**Figura 22.33.** Escalas básica y típica.

El tipo de escala que presenta la figura 22.33 se hace necesario por la configuración del circuito medidor mostrado en la siguiente figura. Con los valores mostrados se obtienen los resultados que muestra la figura 22.34.

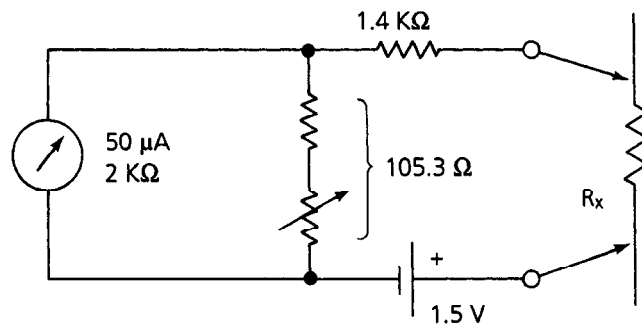


Figura 22.34.

### Puente de Wheatstone

En algunos casos se requieren mediciones muy precisas y el óhmetro no es capaz de proporcionarlas, entonces se usa un dispositivo llamado puente de wheatstone. Éste consta de cuatro resistencias conectadas en forma cuadrangular, uno de los resistores tiene el valor desconocido; una fuente de corriente se conecta en dos uniones opuestas y un galvanómetro de cero al centro se conecta en las otras uniones.

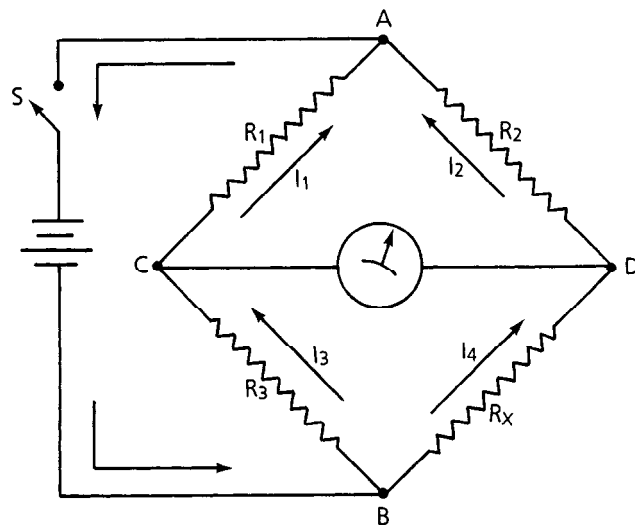


Figura 22.35. Puente de wheatstone.

El suministro está por los puntos A-B y se varía  $R_3$ , que es una resistencia variable, hasta un valor en el que el galvanómetro marque cero; cuando cumple esta condición las ramas ACB y ADB tendrán la misma diferencia de potencial.

$$\text{Entonces: } I_1 = I_3 : I_2 = I_4$$

y si las caídas de tensión entre AC y AD son iguales, como lo son CB y DB, podríamos decir:

$$R_1 I_1 = R_2 I_2 \quad R_3 I_3 = R_x I_4$$

dividiendo la primera ecuación entre la segunda.

$$\frac{R_1 I_1}{R_3 I_3} = \frac{R_2 I_2}{R_x I_4} \text{ y como } I_1 = I_3 \quad I_2 = I_4$$

$$\text{nos queda la expresión } \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_x} \text{ de donde } R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

### Megaóhmmetro (megger)

El megger es otro dispositivo que se emplea para medir resistencias de muy alto valor.

El megahómetro mide resistencias muy altas, por ejemplo: las que hay en el aislamiento de cables entre devanados de motores o transformadores, etcétera. Estas resistencias generalmente varían de varios cientos a miles de megaohms.

Normalmente el megger consiste en una manivela, un generador en una caja de engranes y un medidor. Al girar la manivela los engranes hacen girar al generador a alta velocidad para que genere una tensión de 100, 500, 1000, 2500 y 5000 volts, según el modelo de megger que se tenga.

El megger es muy similar al medidor de bobina móvil que se ha visto. Una diferencia es que tiene dos devanados; uno de ellos (A) está en serie con el resistor

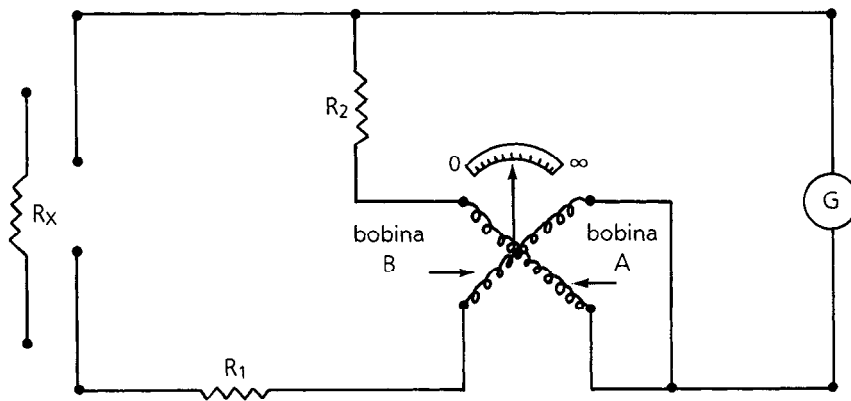


Figura 22.36. Circuito megger básico.

$R_2$  en la salida del generador. Este devanado está hecho de tal manera que hace moverse la aguja hacia el extremo de alta resistencia de la escala cuando el generador está funcionando. El otro devanado ( $B$ ) está en serie con  $R_1$  y la resistencia desconocida ( $R_x$ ) por medir. Este devanado está hecho de tal manera que hace moverse la aguja hacia el extremo de la escala que indica bajo valor de resistencia o resistencia cero cuando el generador está funcionando.

Si tenemos una resistencia de valor muy grande en las terminales de entrada del megger, como en un circuito abierto o que está por abrirse, la corriente en la bobina ( $A$ ) hace que la aguja registre infinito. Por otra parte, cuando hay una resistencia relativamente baja en las terminales de entrada, la corriente en la bobina ( $B$ ) hace que la aguja oscile hacia cero. La aguja se detiene en un punto de la escala determinado por la corriente de la bobina ( $B$ ), la cual está controlada por  $R_x$ .



# Sistema Internacional de Unidades (SI)

## INTRODUCCIÓN

Esta sección tiene como objetivo presentar una versión abreviada del Sistema Internacional de Unidades —conocido como SI en todos los idiomas— que fue adoptado en 1960 por la Conferencia General de Pesas y Medidas, máxima autoridad internacional en metrología y de la cual nuestro país es miembro.

Una información más completa de esta publicación está disponible en la Norma Oficial Mexicana NOM-Z-1 Sistema Internacional de Unidades, cual puede adquirirse en la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

## UNIDADES DE BASE

<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Temperatura Termodinámica	Kelvin	K
Intensidad de corriente eléctrica	Ampere	A
Intensidad luminosa	Candela	cd
Cantidad de sustancia	mol	mol

## UNIDADES SUPLEMENTARIAS

<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>
Ángulo plano	Radián	rad
Ángulo sólido	Estereorradián	sr

### ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS MÁS COMUNES

Magnitud	Unidad	Definición	Símbolo
Superficie	Metro cuadrado	$m \cdot m$	$m^2$
Volumen	Metro cúbico	$m \cdot m \cdot m$	$m^3$
Velocidad	Metro por segundo	$m/s$	$m/s$
Aceleración	Metro por segundo al cuadrado	$m/s^2$	$m/s^2$
Fuerza	Newton	$kg \cdot m/s^2$	N
Presión	Pascal	$N/m^2$	Pa
Densidad	Kilogramo por metro cúbico	$kg/m^3$	$kg/m^3$
Inductancia	Henry	$Wb/A$	H
Inducción magnética	Tesla	$Wb/m^2$	T
Potencia	Watt	$J/s$	W
Diferencia de potencial	Volt	$W/A$	V
Resistencia eléctrica	Ohm	$V/A$	$\Omega$

Magnitud	Unidad	Definición	Símbolo
Conductancia eléctrica	Siemens	$A/V$	S
Capacidad eléctrica	Farad	$C/V$	F
Momento de una fuerza	Newton metro	$N \cdot m$	$N \cdot m$
Momento de inercia	Kilogramo metro cuadrado	$kg \cdot m \cdot m$	$kg \cdot m^2$
Trabajo, energía	Joule	$N \cdot m$	J
Dosis absorbida	Gray	$J/kg$	Gy
Flujo magnético	Weber	$V \cdot s$	Wb
Actividad nuclear	Becquerel	$1/s$	Bq
Frecuencia	Hertz	$1/s$	Hz
Carga eléctrica	Coulomb	$s \cdot A$	C
Flujo luminoso	Lumen	$cd \cdot sr$	lm
Luminosidad	Lux	$lm/m^2$	lx

### PREFIJOS PARA FORMAR LOS MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DEL SI

Prefijos	exa	peta	tera	giga	mega	kilo	hecto	deca	deci	centi	mili	micro	nano	pico	femto	atto
Equivalencias	$10^{18}$	$10^{15}$	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$	$10^{-18}$
Símbolo	E	P	T	G	M	k	h	da	d	c	m	$\mu$	n	p	f	a

Prefijos del (SI) a El Décimoprimer Congreso General de Pesos y Medidas (1960, Resolución 12) adoptó la primera serie de prefijos la última serie fue aprobada en el Décimo nono CGPM (1991) que agregan los siguientes.

Factor	Prefijo	Símbolo
$10^{24}$	yotta	Y
$10^{21}$	zetta	Z
$10^{-24}$	yocto	y
$10^{-21}$	zepto	z

### Equivalencias entre diferentes unidades

F u e r z a	
1 N	= 0,101 971 6 kgf
1 daN	= 1,019 716 kgf
1 kgf	= 9,806 65 N

P r e s i ó n		
1 Pa	=	1 N/m <sup>2</sup>
10 <sup>2</sup> kPa	= 1 bar	= 1,019 716 kgf/cm <sup>2</sup>
10 MPa	= hbar	= 1,019 716 kgf/mm <sup>2</sup>

### Unidades que se conservan para usarse con el SI

Magnitud	Unidad	Valor	Símbolo
Ángulo plano	Grado	( $\pi/180$ ) rad	°
	Minuto	( $\pi/10\,800$ ) rad	'
	Segundo	( $\pi/648\,000$ ) rad	"
Volumen	Litro	10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	l, L
Tiempo	Día	86 400 s	d
	Hora	3 600 s	h
	Minuto	60 s	min
Masa	Tonelada	10 <sup>3</sup> kg	t

### Unidades que pueden usarse temporalmente con el SI

Magnitud	Unidad	Valor	Símbolo
Longitud	Angstrom	10 <sup>-10</sup> m	Å
	Milla marina	1 852 m	
superficie	Área	10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	a
	Hectárea	10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	ha
	Barn	10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>	b
Velocidad	Nudo	(1 852/3 600)m/s	m/s
Presión	Bar	10 <sup>5</sup> Pa	bar
	Atmósfera normal	101 385 Pa	atm
Aceleración	Gal	10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>	Gal
Radiactividad	Curie	3.7 × 10 <sup>10</sup> Bq	Ci
Dosis absorbida	Rad (rd)	10 <sup>-2</sup> Gy	rad
Dosis de radiación	Rontgen	2.58 × 10 <sup>-4</sup> C/kg	R



Referencias:	NOM-Z-1-1981
	ISO-R-31
	ISO-1000
	NIST Special Publication 330, 1991 Edition The International System of Units (SI).
	La Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial recomienda esta simbología basada en el Sistema Internacional de Unidades.

### Definiciones de unidades de base y suplementarias

- El **metro** es la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío, durante un lapso de  $1/299\,792\,458$  de segundo (17a. CGPM\*-1983).
- El **kilogramo** es la masa igual a la red del prototipo internacional del kilogramo (1a. y 3a. CGPM-1889 y 1901).
- El **segundo** es la duración de  $9\,192\,631\,770$  periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del átomo de cesio 133 (13a. CGPM-1967, resolución 1).
- El **ampere** es la intensidad de una corriente eléctrica constante que mantenida en dos conductores paralelos rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y colocados a un metro de distancia entre sí producirá en el vacío entre estos conductores una fuerza igual de  $2 \times 10^{-7}$  newton por metro de longitud (9a. CGPM-1948, resolución 2).
- El **kelvin** es la fracción  $1/273.16$  de la temperatura termodinámica del punto triple de agua (13a CGPM-1967, resolución 4).
- La **candela** es la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hertz, cuya intensidad energética en esa dirección es  $1/683$  watt por esterradián (16a. CGPM-1979, resolución 3).
- El **mol** es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como existen átomos en  $0.012$  kg de carbono 12 (14a. CGPM-1971, resolución 3).
- El **radián** es el ángulo plano comprendido entre dos radios de un círculo y que interceptan sobre la circunferencia de este círculo un arco de longitud igual a la del radio. (Recomendación IS\*-R31/1.)
- El **esterradián** es el ángulo sólido que teniendo su vértice en el centro de una esfera, corta sobre la superficie de esta esfera un área igual a la de un cuadrado que tiene por lado el radio de la esfera. (Recomendación ISO-R31/1.)

### SISTEMA INGLÉS Y SUS EQUIVALENCIAS

Aun cuando en México la ley no considera el uso del sistema inglés, la situación comercial y económica demanda el uso de unidades en este sistema, sobre todo

\* CGPM: Conferencia General de Pesas y Medidas (París, Francia).

\*\* ISO Organización Internacional para la Normalización (Ginebra, Suiza).

ahora que ha entrado en vigor el Tratado de Libre Comercio entre Canadá, Estados Unidos de y México.

En lo que va de este siglo, nuestra industria ha estado más ligada a Estados Unidos que a Europa u Oriente, por lo tanto en los equipos y herramientas con frecuencia se utilizan las unidades del sistema inglés. En Estados Unidos es común este sistema, por consiguiente, en los productos que exportemos a ese mercado es preciso manejar sus unidades y conocer cómo realizar la conversión al sistema decimal.

Por ejemplo, en Estados Unidos la ley establece lo siguiente:

1 metro = 39.37 pulgadas

1 libra-masa = 453.59237 gramos

1 pulgada = 2.54 centímetros

12 pulgadas = 1 pie

3 pies = 1 yarda

5 1/2 yardas = 1 vara (varilla)

40 varas = 1 furlong

8 furlongs = 1 milla

1 milla = 1609.34 metros

Las unidades estándar de tiempo se establecen en términos de frecuencias conocidas de la oscilación de ciertos dispositivos. Uno de los dispositivos más simples es un péndulo. También puede usarse un sistema vibracional torsional como un estándar de frecuencia. El sistema torsional se usa ampliamente en los relojes. En ciertas circunstancias, el voltaje de línea a 60 hertz (Hz) puede usarse como un estándar de frecuencia. Un reloj eléctrico usa esta frecuencia como estándar, debido a que opera con un motor sincrónico cuya velocidad depende de la frecuencia de la línea. Un diapasón de afinación es una fuente adecuada de frecuencia, como lo son los cristales piezoeléctricos. También pueden diseñarse osciladores electrónicos como fuentes de frecuencia muy precisas.

La unidad fundamental de tiempo, el segundo (s), se definió en el pasado como 1/86 400 del día solar medio. El día solar se mide como el intervalo de tiempo entre dos tránsitos sucesivos del Sol a través de un meridiano terrestre. El intervalo varía con la localidad en la Tierra y el tiempo del año; el *día solar medio* para un año es constante. El año solar es el tiempo que la Tierra requiere para completar una revolución alrededor del Sol. El año solar medio es de 365 días 5 h 48 min 48 s.

La definición anterior del segundo es bastante exacta, pero depende de las observaciones astronómicas con objeto de establecer el estándar. En octubre de 1967, la Decimotercera Conferencia General de Pesas y Medidas definió al segundo como la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133. Este estándar puede reproducirse con facilidad en los

laboratorios de estándares en todo el mundo. La exactitud estimada de este estándar es de dos partes en  $10^9$ .

La estación de radio WWV del National Institute of Standards and Technology transmite estándares muy precisos de frecuencia y tiempo: Esta estación proporciona intervalos estándares de tiempo, señales de tiempo, tonos musicales, frecuencia de radio y pronósticos de propagación de radio. La exactitud de las frecuencias de radio y audio, como se transmiten, son mejores que una parte en cien millones, y el intervalo de tiempo es exacto a una parte de  $100\,000\,000 \pm 1$  microsegundo ( $10^{-6}$  s).

Las unidades estándares de cantidades eléctricas se derivan de las unidades mecánicas de fuerza, masa, longitud y tiempo. Estas unidades representan las unidades eléctricas absolutas y difieren ligeramente del sistema internacional de unidades eléctricas establecido en 1948. La principal ventaja de este sistema es que permite establecer una pila patrón o estándar, cuya salida puede relacionarse en forma directa con las unidades eléctricas absolutas. La conversión del sistema internacional establece las siguientes relaciones:

$$1 \text{ ohm internacional} = 1.00049 \text{ ohms absolutos}$$

$$1 \text{ volt internacional} = 1.000330 \text{ volts absolutos}$$

$$1 \text{ ampere internacional} = 0.99835 \text{ ampere absoluto}$$

Por lo general, la calibración en laboratorio se efectúa con la ayuda de patrones o estándares secundarios como pilas patrón para fuentes de tensión y resistencias patrón como patrones de comparación para la medición de resistencia eléctrica.

En 1854, William Thomson Kelvin propuso una escala absoluta de temperatura, la cual establece las bases de los cálculos termodinámicos. Esta escala está definida de modo que se da significado particular a la segunda ley de la termodinámica cuando se usa esta escala de temperatura. La escala internacional práctica de temperatura de 1968, suministra una base experimental para una escala de temperatura que se aproxima, en lo posible, a la escala absoluta de temperatura termodinámica. En la escala internacional se establecen 11 puntos primarios, como se muestra en la tabla 23.1 También se establecen puntos secundarios, los cuales en la tabla 33.2. Además de los puntos fijos; se establecen procedimientos precisos con el fin de interpolar entre estos puntos. Estos procedimientos de interpolación están en la tabla 23.3.

Ambas escalas, la Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) y la Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), tienen un amplio uso y el investigador debe trabajar con cualquiera de ellas. La escala Fahrenheit absoluta se llama escala Rankine ( $^{\circ}\text{R}$ ), en tanto que la escala absoluta Celsius se designa como escala Rankine ( $^{\circ}\text{R}$ ), en tanto que la escala absoluta Celsius se designa como escala Kelvin (K). Las relaciones entre éstas son:

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5^{\circ}\text{C} + 32.0$$

**Tabla 23.1.** Puntos fundamentales para la escala práctica internacional de temperatura (1968).

Punto	Temperatura	
	°C	°F
Presión normal = 14.6959 psia = $1.032 \times 10^5$ Pa		
Punto triple de equilibrio del hidrógeno	-259.34	-434.81
Punto de ebullición de equilibrio del hidrógeno a 25/76 de presión normal	-256.108	-428.99
Punto normal de ebullición (1 atm) de equilibrio del hidrógeno	-252.87	-423.17
Punto normal de ebullición del neón	-246.048	-410.89
Punto triple del oxígeno	-218.789	-361.82
Punto normal de ebullición del oxígeno	-182.962	-297.33
Punto triple del agua	0.01	32.018
Punto normal de ebullición del agua	100	212.00
Punto normal de congelación del zinc	419.58	787.34
Punto normal de congelación de la plata	961.93	1763.47
Punto normal de congelación del oro	1064.43	1947.97

**Tabla 23.2.** Puntos fijos derivados para la escala práctica internacional de temperaturas (1968).

Punto	Temperatura, °C
Punto triple H <sub>2</sub> normal	-259.194
Punto de ebullición, H <sub>2</sub> normal	-252.753
Punto triple, Ne	-248.595
Punto triple N <sub>2</sub>	-210.002
Punto de ebullición, N <sub>2</sub>	-195.802
Punto de sublimación, CO <sub>2</sub> (normal)	-78.476
Punto de congelación, Hg	-38.862
Punto de hielo	0
Punto triple, fenoxibenceno	26.87
Punto triple, ácido benzoico	122.37
Punto de congelación, In	156.634
Punto de congelación, Bi	271.442
Punto de congelación, Cd	321.108
Punto de congelación, Pb	327.502
Punto de ebullición Hg	356.66
Punto de ebullición, S	444.674
Punto de congelación, Cu-Al eutéctica	548.23
Punto de congelación, Sb	630.74
Punto de congelación, Al	660.74
Punto de congelación, Cu	1084.5
Punto de congelación, Ni	1455
Punto de congelación, Co	1494
Punto de congelación, Pd	1554
Punto de congelación, Pt	1772
Punto de congelación, Rh	1963
Punto de congelación, Ir	447
Punto de congelación, W	3387

## Dimensiones y unidades

A pesar de la gran importancia de la comunidad profesional de ingeniería en la estandarización de las unidades con un sistema internacional, una variedad de instrumentos estará en uso por muchos años por lo que el investigador debe conocer las unidades que aparecen en los medidores y el equipo de lectura. Las principales dificultades ocurren con las unidades mecánicas y térmicas, debido a que las unidades eléctricas se estandarizaron desde hace tiempo. El SI (*Système International D'Unités*) es un conjunto de unidades que prevalecerá finalmente; los ejemplos y problemas se expresarán en este sistema y en el sistema inglés, empleado desde hace muchos años en Estados Unidos.

**Tabla 23.3.** Procedimientos de interpolación para la escala práctica internacional de temperatura (1968)

Intervalo, °C	Procedimiento
-259.34 a 0	Termómetro de resistencia de platino con coeficientes polinomiales cúbicos, determinados a partir de calibraciones en puntos fijo, usando cuatro intervalos.
0 a 630.74	Termómetro de resistencia de platino con coeficientes polinomiales de segundo grado determinado a partir de calibraciones en tres puntos fijos del intervalo.
630.74 a 1064.43	Termopar estándar de platino-platino rodio (10%) con coeficientes polinomiales de segundo grado, determinados a partir de calibraciones en puntos de antimonio, plata y oro.
Arriba de 1064.43	Temperatura definida por:

$$\frac{J_1}{J_{Au}} = \frac{e^{C_2/\lambda (T_{Au} + T_0)} - 1}{e^{C_2/\lambda (T + T_0)} - 1}$$

$J_1, J_{Au}$  = energía radiante emitida por unidad de tiempo, unidad del área y unidad de longitud de onda a una longitud de onda  $\lambda$ , a temperatura  $T$  y a temperatura de punto de oro  $T_{Au}$ , respectivamente.

$$C_2 = 1.438 \text{ cm} \cdot \text{K}$$

$$T_0 = 273.16 \text{ K}$$

$$\lambda = \text{longitud de onda}$$



Debe tenerse cuidado y no confundir los significados de los términos “unidades” y “dimensiones”. Una *magnitud* es una variable física usada para especificar el comportamiento de la naturaleza de un sistema particular; por ejemplo, la longitud de una barra es una magnitud de la barra. En forma parecida, la temperatura de un gas puede considerarse como una de las magnitudes termodinámicas del gas. Cuando se dice que la barra tiene tantos metros de longitud, o que el gas tiene una temperatura de tantos grados Celsius, se dan las unidades con las cuales se escoge medir la dimensión. En este análisis se usan las magnitudes:

$L$  = longitud  
 $M$  = masa  
 $F$  = fuerza  
 $\tau$  = tiempo  
 $T$  = temperatura

Todas las cantidades físicas usadas pueden expresarse en términos de estas magnitudes fundamentales. Las unidades utilizadas para ciertas magnitudes se seleccionan por definiciones un poco arbitrarias que usualmente se relacionan con un fenómeno físico o ley; por ejemplo, la segunda ley de movimiento de Newton puede escribirse

Fuerza  $\sim$  tasa en tiempo de cambio, de movimiento

$$F = k \frac{d(mv)}{d\tau}$$

donde  $k$  es la constante de proporcionalidad. Si la masa es constante

$$F = kma \quad (1)$$

donde la aceleración es  $a = dv/d\tau$ . Por lo general la ecuación (2) se escribe

$$F = \frac{1}{g_c} ma \quad (2)$$

con  $1/g_c = k$ . La ecuación (2) se usa para definir los sistemas de unidades para masa, fuerza, longitud y tiempo. Algunos sistemas típicos de unidades son:

1. 1 libra-fuerza acelera 1 libra-masa 32.174 pies por segundo al cuadrado.
2. 1 libra-fuerza acelera 1 slug-masa 1 pie por segundo al cuadrado.
3. Una fuerza de 1 dina acelera 1 gramo-masa 1 centímetro por segundo al cuadrado.

4. Una fuerza de 1 newton (N) acelera 1 kilogramo-masa 1 metro por segundo al cuadrado.
5. Una fuerza de 1 kilogramo acelera 1 kilogramo-masa 9.80665 metro por segundo al cuadrado.

Algunas veces el kilogramo-fuerza recibe la designación de kilopondio (kp). Ya que la ecuación (2) debe ser dimensionalmente homogénea se tiene un valor diferente de la constante  $g_c$  para cada uno de los sistemas de unidades en los incisos 1 a 5 anteriores. Estos valores son:

1.  $g_c = 32.174 \text{ ibm} \cdot \text{ft/lbf} \cdot \text{s}^2$
2.  $g_c = 1 \text{ slug} \cdot \text{ft/lbf} \cdot \text{s}^2$
3.  $g_c = 1 \text{ g} \cdot \text{cm/dyn} \cdot \text{s}^2$
4.  $g_c = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/N} \cdot \text{s}^2$
5.  $g_c = 9.80665 \text{ kgm} \cdot \text{m/kgf} \cdot \text{s}^2$

No importa cuál sistema de unidades se use, basta que concuerde con las definiciones anteriores.

El trabajo tiene las dimensiones de un producto de fuerza multiplicada por la distancia. La energía tiene las mismas dimensiones. Las unidades de trabajo pueden tomarse de cualquiera de los sistemas mencionados; por lo tanto, las unidades de trabajo y energía para cada uno de estos sistemas son:

1.  $\text{lbf} \cdot \text{ft}$
2.  $\text{lbf} \cdot \text{ft}$
3.  $\text{dyn} \cdot \text{cm} = 1 \text{ erg}$
4.  $\text{N} \cdot \text{m} = 1 \text{ joule (J)}$
5.  $\text{kgf} \cdot \text{m} = 9.80665 \text{ J}$

Además, pueden usarse las unidades de energía que se basan en los fenómenos térmicos:

1. unidad térmica británica (Btu) eleva la temperatura de una libra-masa de agua en 1 grado Fahrenheit, a 68°F.
1. caloría (cal) eleva la temperatura de 1 gramo de agua en 1 grado Celsius, a 20°C.
1. kilocaloría eleva la temperatura de 1 kilogramo de agua en 1 grado Celsius, a 20°C.

Los factores de conversión para las diversas unidades de trabajo y energía son:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Btu} &= 778.16 \text{ lbf} \cdot \text{ft} \\
 1 \text{ Btu} &= 1055 \text{ J} \\
 1 \text{ kcal} &= 4182 \text{ J} \\
 1 \text{ lbf} \cdot \text{ft} &= 1.356 \text{ J} \\
 1 \text{ Btu} &= 252 \text{ cal}
 \end{aligned}$$

Al final del capítulo se dan factores adicionales de conversión.

El peso de un cuerpo se define como la fuerza que ejerce en ése la aceleración de la gravedad; por lo tanto:

$$W = \frac{g}{g_c} m \quad (3)$$

donde  $W$  es el peso y  $g$  es la aceleración de la gravedad. Obsérvese que el peso de un cuerpo tiene dimensiones de fuerza. Puede verse ahora cómo se planearon los sistemas 1 y 5 anteriores: 1 lbm pesará 1 lbf al nivel del mar, y 1 kgm pesa 1 kgf.

El problema es que *todos* los sistemas de unidades citados se usan en diversos lugares del mundo. Aun cuando el sistema de pie-libra de fuerza, libra-masa, segundo, grado Fahrenheit, Btu, todavía se usa con amplitud en Estados Unidos, hay un interés creciente por instituir las unidades del SI como un estándar mundial. En este sistema, las unidades fundamentales son: metro, newton, kilogramo masa, segundo y grado Celsius; no se usa una unidad de energía "térmica", es decir, el joule ( $\text{N} \cdot \text{m}$ ) es la unidad de energía usada en todas partes. El watt ( $\text{J/s}$ ) es la unidad de potencia en este sistema. En el SI, el concepto de  $g_c$  no se usa, por lo general, y el newton se define como:

$$1 \text{ newton} = 1 \text{ kilogramo-metro por segundo cuadrado} \quad (4)$$

Aun así, debe considerarse la relación física entre fuerza y masa expresada por la segunda ley del movimiento de Newton.

A pesar de los intentos de lograr un cambio completo al sistema SI, un gran número de practicantes de la ingeniería todavía usa las unidades inglesas y continuará haciéndolo por cierto tiempo; por lo tanto, en este texto se usan las unidades inglesas y del SI, de modo que el lector pueda operar en forma efectiva en el ambiente industrial esperado.

La tabla 23.4 es una lista de unidades del SI básicas y suplementarias, en tanto que la tabla 23.5 da una lista de las unidades del SI derivadas para diversas cantidades físicas. El SI también especifica los prefijos multiplicadores estándar, según se muestra en la tabla 23.6; por ejemplo, la presión de 1 atm es  $1.0132 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , lo cual puede escribirse  $1 \text{ atm} = 0.10132 \text{ MN/m}^2$ . Los factores de conversión se dan al final del capítulo, lo mismo que en las secciones del texto en las cuales se exponen técnicas específicas de medición para la presión, flujo de energía, etcétera.



**Tabla 23.4.** Unidades del SI fundamentales y suplementarias

<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>
<i>Unidades básicas</i>		
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Corriente eléctrica	Ampere	A
Temperatura	Kelvin	K
intensidad luminosa	Candela	cd
<i>Unidades suplementarias</i>		
Ángulo plano	radián	rad
Ángulo sólido	estereorradián	sr

**Tabla 23.5.** Unidades del SI derivadas.

<i>Magnitud</i>	<i>Nombre(s) de la unidad</i>	<i>Símbolo unitario o abreviatura, cuando difiere de la forma básica</i>	<i>Unidad expresada en términos de unidades básicas o suplementarias</i>
Área	Metro cuadrado		m <sup>2</sup>
Volumen	Metro cúbico		m <sup>3</sup>
Frecuencia	Hertz, ciclo por segundo	Hz	s <sup>-1</sup>
Densidad, concentración	Kilogramo por metro cúbico		kg/m <sup>3</sup>
Velocidad	Metro por segundo		m/s
Velocidad angular	Radián por segundo		rad/s
Aceleración	Metro por segundo cuadrado		m/s <sup>2</sup>
Aceleración angular	Radián por segundo cuadrado		rad/s <sup>2</sup>
Tasa de flujo volumétrico	Metro cúbico por segundo		m <sup>3</sup> /s
Fuerza	Newton	N	kg · m/s <sup>2</sup>
Tensión superficial	Newton por metro, joule por metro cuadrado	N/m, J/m <sup>2</sup>	kg/s <sup>2</sup>
Presión	Newton por metro cuadrado, pascal	N/m <sup>2</sup> , Pa	kg/m · s <sup>2</sup>
Viscosidad, dinámica	Newton-segundo por metro		kg/m · s
Viscosidad, cinemática; difusividad; conductividad de masa	Cuadrado, poiseuille Metro cuadrado por segundo	N · s/m <sup>2</sup> , Pl	m <sup>2</sup> /s
Trabajo, par de torsión, energía, cantidad de calor	Joule, Newton-metro watt-segundo	J, N · m, W · s	kg · m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Potencia, flujo de calor	Watt-Joule por segundo,	W, J/s	kg · m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>



Tabla 23.5. (Continuación)

<i>Magnitud</i>	<i>Nombre(s) de la unidad</i>	<i>Símbolo unitario o abreviatura, cuando difiere de la forma básica</i>	<i>Unidad expresada en términos de unidades básicas o suplementarias</i>
Densidad de flujo de calor	Watt por metro cuadrado	W/m <sup>2</sup>	kg/s <sup>3</sup>
Tasa volumétrica de liberación de calor	Watt por metro cúbico	W/m <sup>3</sup>	kg/m · s <sup>3</sup>
Coefficiente de transferencia de calor	Watt por metro cuadrado	W/m <sup>2</sup> · grado	kg/s <sup>3</sup> · grado
Calor latente, entalpía (específica)	Grado Joule por kilogramo	J/kg	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Capacidad de calor (específica)	Joule por kilogramo grado	J/kg · grado	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> · grado
Tasa de capacidad	Watt por grado	W/grado	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> · grado
Conductividad térmica	Watt por metro grado	W/m · grado J · m/s · m <sup>2</sup> · grado	kg · m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> · grado
Flujo de masa, tasa de flujo de masa	Kilogramo por segundo		kg/s
Densidad de flujo de masa, tasa de flujo de masa por unidad de área	Kilogramo por metro Cuadrado-segundo		kg/m <sup>2</sup> · s
Coefficiente de transferencia de masa	Metro por segundo		m/s
Cantidad de electricidad	Coulomb	C	A · s
Fuerza electromotriz	Volt	V, W/A	kg · m <sup>2</sup> /A · s <sup>3</sup>
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω, V/A	kg · m <sup>2</sup> /A <sup>2</sup> · s <sup>3</sup>
Conductividad eléctrica	Ampere por volt metro	A/V · m	A <sup>2</sup> · s <sup>3</sup> /kg · m <sup>3</sup>
Capacitancia eléctrica	Farad	F, A · s/V	A <sup>3</sup> · s <sup>4</sup> /kg · m <sup>2</sup>
Flujo magnético	Weber	Wb, V · s	kg · m <sup>2</sup> /A · s <sup>2</sup>
Inductancia	Henry	H, V · s/A	kg · m <sup>2</sup> A <sup>2</sup> · s <sup>2</sup>
Permeabilidad magnética	Henry por metro	H/m	kg · m <sup>2</sup> A <sup>2</sup> · s <sup>2</sup>
Densidad de flujo magnético	Tesla, weber por metro cuadrado	T, Wb/m <sup>2</sup>	kg/A · s <sup>2</sup>
Fuerza de campo magnético	Ampere por metro		A/m
Fuerza magnetomotriz	Ampere		A
Flujo luminoso	Lumen	lm	cd · sr
Luminancia	Candela por metro cuadrado		cd/m <sup>2</sup>
Iluminación	Lux, lumen por metro cuadrado	lx, lm/m <sup>2</sup>	cd · sr/m <sup>2</sup>

**Tabla 23.6.** Prefijos estándar y múltiplos y sub-múltiplos en las unidades SI.

<i>Múltiplos y submúltiplos</i>	<i>Prefijos</i>	<i>Símbolos</i>
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hecto	h
10	deca	da
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	mano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a

**Tabla 23.7.** Factores de conversión

<i>Para convertir</i>	<i>A.</i>	<i>multiplicar por</i>	<i>A la Inversa multiplicar por</i>
Acres	Metros cuadrados	4047	$2.471 \times 10^{-4}$
Acres	Millas cuadradas	$1.5625 \times 10^{-3}$	640
Acres	Pies cuadrados	$4.356 \times 10^4$	$2.296 \times 10^{-5}$
Ampere-horas	Ampere vueltas por pulg	2.54	$2.778 \times 10^{-4}$
Ampere-vueltas	Coulombs	3 600	0.7958
Ampere vueltas por cm	Gilberts	1.257	0.3937
Amperes	Microamperes	$10^6$	$10^{-6}$
Amperes	Miliamperes	$10^3$	$10^{-3}$
Amperes	Picoamperes	$10^{12}$	$10^{-12}$
Angstrong (unidades)	Metros	$10^{-10}$	$10^{10}$
Amgstrong (unidades)	Pulgadas	$3.937 \times 10^{-9}$	$2.54 \times 10^8$
Atmósferas	Kg por cm cuadrado	1.033529	0.96755
Atmósferas	kg por m <sup>2</sup>	10 335.29	$.967558 \times 10^{-5}$
Atmósferas	libras por pulg cuadrada	14.70	0.06804
Atmósferas	Pascales	101.325	$9.86692 \times 10^{-6}$
Atmósferas	Pies de agua	33.90	0.02950
Barns	cm cuadrados	$10^{-24}$	$10^{24}$
Bars	Dinas por cm <sup>2</sup>	$10^6$	$10^{-6}$
Bars	Atmósferas	$9.870 \times 10^{-7}$	$1.0133 \times 10^6$
Bars	Kgf/cm <sup>2</sup>	1.019716	0.980665

Tabla 23.7. Factores de conversión (Continuación)

Para convertir	A.	multiplicar por	A la Inversa multiplicar por
Bars	libras por pulg <sup>2</sup>	14.504	$6.8947 \times 10^{-2}$
Btu	Ergs	$1.0548 \times 10^{10}$	$9.486 \times 10^{-11}$
Btu	Joule	1054.8	$9.480 \times 10^{-4}$
Btu	kilogramo-caloría	0.252	3.969
Btu	Pie-libra	778.3	$1.285 \times 10^{-3}$
Btu por hora	Caballos de potencia por hora	$3.929 \times 10^{-4}$	2545
Bushels	Pies cúbicos	1.2446	0.8036
Caballo de potencia	Caballo de potencia métrico	1.014	0.9863
Caballo de potencia	Kilowatt	0.746	1.341
Caballo de potencia	pie-libra por minuto	$3.3 \times 10^4$	$3.03 \times 10^{-5}$
Caballo de potencia	pie-libra por segundo	550	$1.182 \times 10^{-3}$
Caballo de potencia	Btu por minuto	42.418	$2.357 \times 10^{-3}$
Cadenas (topografía)	Pies	66	$1.515 \times 10^{-2}$
Calorías, gramo	Joules	4.185	0.2389
Centígrado	Celsius	1	1
Centígrado	Fahrenheit	$(^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32 = ^{\circ}\text{F}$	$(^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9 = ^{\circ}\text{C}$
Centígrado	Kelvin	$^{\circ}\text{C} + 273.1 = ^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{F} - 273.1 = ^{\circ}\text{C}$
Ciclos por s	Hertz	1	1
Circular mils	cm cuadrados	$5.067 \times 10^{-6}$	$1.973 \times 10^5$
Circular mils	mils cuadrados	0.7854	1.273
Cuadrante	Grados	90	$11.111 \times 10^{-2}$
Cuadrante	Grads	100	.01
Cuadrante	Radianes	1.5708	0.637
Dinas	Libras	$2.248 \times 10^{-6}$	$4.448 \times 10^5$
Erg	Pie-libra	$7.376 \times 10^{-8}$	$1.756 \times 10^7$
Fahrenheit	Rankine	$^{\circ}\text{F} + 459.58 = ^{\circ}\text{R}$	$^{\circ}\text{R} - 459.58 = ^{\circ}\text{F}$
Faradays	Ampere-hora	26.8	$3.731 \times 10^{-2}$
Farads	Microfarads	$10^6$	$10^{-6}$
Farads	Milifarads	$10^3$	$10^{-3}$
Farads	Picofarads	$10^{12}$	$10^{-12}$
Fathoms	Pie	6	0.16667
Galones (liq. U.S.)	Galones (liz. Br Im:)	0.8327	1.201
Galones (liq. U.S.)	Metro cúbico	$3.785 \times 10^{-3}$	264.2
Gauss	Líneas por cm <sup>2</sup>	1.0	1.0
Gauss	Líneas por in <sup>2</sup>	6.452	0.155
Gauss	Weber por in <sup>2</sup>	$6.452 \times 10^{-8}$	$1.55 \times 10^7$
Grads (ángulo)	grados	0.9	1.11111
Grados (ángulo)	mils	17.45	$5.73 \times 10^{-2}$
Grados (ángulo)	radianes	$1.745 \times 10^{-2}$	57.3

Tabla 23.7. Factores de conversión (Continuación)

Para convertir	A	multiplicar por	A la Inversa multiplicar por
Gramos	Poundals	$7.093 \times 10^{-2}$	14.1
Gramos	Dinas	980.7	$1.02 \times 10^{-3}$
Gramos	Gramos	15.43	$6.481 \times 10^{-2}$
Gramos	Onzas (avdp)	$3.527 \times 10^{-2}$	28.35
Gramos por cm	Libras por pulgada	$5.6 \times 10^{-3}$	178.6
Gramos por cm <sup>3</sup>	Libras por pulg <sup>3</sup>	$3.613 \times 10^{-2}$	27.68
Henries	Microhenries	$10^6$	$10^{-6}$
Henries	Milihenries	$10^3$	$10^{-3}$
Hertz	Kilohertz	$10^{-3}$	$10^3$
Hertz	Megahertz	$10^{-6}$	$10^6$
Joules	Pie-libras	0.7376	1.356
Joules	Watt-hora	$2.778 \times 10^{-4}$	3600
Joules	Erg	$10^7$	$10^{-7}$
Kilogramos	Libras (avdp)	2.205	0.4537
Kilogramos	Toneladas (cortas)	$1.102 \times 10^{-3}$	907.2
Kilogramos	Toneladas (largas)	$9.842 \times 10^{-4}$	1016
Kilogramos	Tonnes	$10^3$	$10^{-3}$
Kilogramos por m <sup>2</sup>	Libras por pie cuadrado	0.2048	4.882
Kilómetros	Pie	3281	$3.408 \times 10^{-4}$
Kilómetros	Pulgadas	$3.937 \times 10^4$	$2.54 \times 10^{-5}$
Kilómetro cuadrado	Millas cuadradas	0.3861	2.59
Kilómetros	Año luz	$1.0567 \times 10^{-13}$	$9.4637 \times 10^{12}$
Kilómetros por hora	Nudos	0.5396	1.8532
Kilómetros por hora	Pies por minuto	54.68	$1.829 \times 10^{-2}$
Kilowatt-hora	Btu	3413	$2.93 \times 10^{-4}$
Kilowatt-hora	Caballo de fuerza-hora	1.341	0.7457
Kilowatt-hora	Joules	$3.6 \times 10^6$	$2.778 \times 10^{-7}$
Kilowatt-hora	Libras de agua evaporadas desde y a 212°F	3.53	0.284
Kilowatt-hora	Pie-libra	$2.655 \times 10^6$	$3.766 \times 10^{-7}$
Kilowatt-hora	Watt-hora	$10^3$	$10^{-3}$
Lamberts	Candelas por cm <sup>2</sup>	0.3183	3.142
Libra	Gramos	453.6	$2.205 \times 10^{-3}$
Libra (fuerza)	Newtons	4.4482	0.2288
Libras carbón oxidizado	Btu	14544	$6.88 \times 10^{-5}$
Libras de agua (destilada)	Galones	0.1198	8.347
Libras de agua (destilada)	Pies cúbicos	$1.603 \times 10^{-2}$	62.38
Libras por pulg cuadrada	Dinas por cm <sup>2</sup>	$6.8946 \times 10^{-4}$	$1.450 \times 10^{-5}$
Ligas	Millas	3	0.33



**Tabla 23.7.** Factores de conversión (*Continuación*)

<i>Para convertir</i>	<i>A.</i>	<i>multiplicar por</i>	<i>A la Inversa multiplicar por</i>
Links	Cadenas	0.01	100
Links (topografía)	Pulgadas	7.92	35.24
Litros	Bushels (en seco U.S.)	$2.838 \times 10^{-2}$	0.1263
Litros	Centímetros cúbicos	$10^3$	$10^{-3}$
Litros	Galones (liq. U.S.)	0.2642	3.785
Litros	Metros cúbicos	$10^{-3}$	$10^3$
Litros	Pintas (liq. U.S.)	2.113	0.4732
Litros	Pulgadas cúbicas	61.02	$1.639 \times 10^{-2}$
Log <sub>e</sub>	Log <sub>10</sub> N	0.4343	2.303
Lumens por pie cuadrado	Pie candela	1	1
Lux	Pie candela	0.0929	10.764
Maxwells	Kilo líneas	$10^{-3}$	$10^3$
Maxwells	Megalíneas	$10^{-6}$	$10^6$
Maxwells	Webers	$10^{-8}$	$10^8$
Metros	Centímetros	$10^2$	$10^{-2}$
Metros	Kilómetros	$10^{-3}$	$10^3$
Metros	Millas	$6.214 \times 10^{-4}$	1609.35
Metros	Pies	3.28	$30.48 \times 10^{-2}$
Metros	Pulgadas	39.37	$2.54 \times 10^{-2}$
Metros	Yardas	1.094	0.9144
Metros cuadrados	Yardas cuadradas	1.196	0.8361
Metros cúbicos	Pies cúbicos	35.31	$2.832 \times 10^{-2}$
Metros cúbicos	Yardas cúbicas	1.308	0.7646
Metros por minuto	Km por hora	0.06	16.67
Metros por minuto	Pies por minuto	3.281	0.3048
Mhos	Micromhos	$10^6$	$10^{-6}$
Mhos	Milimhos	$10^3$	$10^{-3}$
Microfarads	Picofarads	$10^6$	$10^{-6}$
Miliamperes	Microamperes	$10^3$	$10^{-3}$
Milihenries	Microhenries	$10^3$	$10^{-3}$
Milímetros	Centímetros	0.1	10
Milímetros	Micrones	$10^3$	$10^{-3}$
Milímetros	Pulgadas	$3.937 \times 10^{-2}$	25.4
Milímetros cuadrados	Centímetros cuadrados	.01	100
Milímetros cuadrados	Circular mils	1973	$5.067 \times 10^{-4}$
Milivolts	Microvolts	$10^3$	$10^{-3}$
Milla cuadrada	Acres	640	$1.562 \times 10^{-2}$
Milla cuadrada	Yardas cuadradas	$3.098 \times 10^6$	$3.228 \times 10^{-7}$

Tabla 23.7. Factores de conversión (Continuación)

<i>Para convertir</i>	<i>A.</i>	<i>multiplicar por</i>	<i>A la Inversa multiplicar por</i>
Millas (estatutarias)	Kilómetros	1.609 334	0.621375
Millas (estatutarias)	Millas náuticas	.869	1.1508
Millas (estatutarias)	Pie	5280	$1.899 \times 10^{-4}$
Millas (estatutarias)	Yardas	1760	$5.6818 \times 10^{-4}$
Millas (náuticas)	Metros	1852	$5.4 \times 10^{-4}$
Millas (náuticas)	Pies	6076.1	$1.646 \times 10^{-4}$
Millas por hora	Km por hora	1.609	0.6214
Millas por hora	Nudos	0.8684	1.152
Millas por hora	Pies por minuto	88	$1.136 \times 10^{-2}$
Millas por hora	Pies por segundo	1.467	0.6818
Mils	Minutos	3.438	0.2909
Mils cuadradas	Circular mils	1.273	0.7854
Minutos (ángulos)	Grados	$1.666 \times 10^{-2}$	60
Nepers	Decibeles	8.686	0.1151
Newtons	Dinas	$10^5$	$10^{-5}$
Newtons	Libras (avdps)	0.2248	4.448
Nudos	Metros por minuto	30.87	0.0324
Nudos	Millas por hora	1.1508	0.869
Ohms	Megohms	$10^{-6}$	$10^6$
Ohms	Microohms	$10^6$	$10^{-6}$
Ohms	Miliohms	$10^3$	$10^{-3}$
Ohms	Ohms (internacional)	0.99948	1.00052
Ohms	Picoohms	$10^{12}$	$10^{-12}$
Ohms por pie	Ohms por metro	0.3048	3.281
Onza (avdp)	Libras	$6.25 \times 10^{-2}$	16
Onza (fluida)	Cuartos	$3.125 \times 10^{-2}$	32
Picofarad	Microfarad	$10^{-6}$	$10^6$
Pinta	Cuarto (liq. USA)	0.50	2
Pie	centímetro	30.48	$3.281 \times 10^{-2}$
Pie	Metros	0.3048	3.281
Pie	Mils	$1.2 \times 10^4$	$8.333 \times 10^{-5}$
Pie cuadrado	Centímetros cuadrados	929.034	$1.076 \times 10^{-3}$
Pie cuadrado	Metros cuadrados	$9.29 \times 10^{-2}$	10.764
Pie cuadrado	Milla cuadrada	$3.587 \times 10^{-8}$	$27.88 \times 10^6$
Pie cuadrado	Pulgada cuadrada	144	$6.944 \times 10^{-3}$
Pie cuadrado	Yarda cuadrada	$11.11 \times 10^{-2}$	9
Pie-libra	Caballo de potencia-hora	$5.05 \times 10^{-7}$	$1.98 \times 10^6$
Pie-libra	gramo-cm	$1.383 \times 10^4$	$1.235 \times 10^{-5}$
Pie-libra	kg-m	0.1383	7.233
Pie-libra	Kilowatt-hora	$3.766 \times 10^{-7}$	$2.655 \times 10^6$

**Tabla 23.7.** Factores de conversión (*Continuación*)

<i>Para convertir</i>	<i>A.</i>	<i>multiplicar por</i>	<i>A la Inversa multiplicar por</i>
Pie-libra	Onza-pulgada	192	$5.208 \times 10^{-3}$
Pies cuadrados	Acres	$2.296 \times 10^{-5}$	43560
Pies cúbicos	Galones (liq U.S.A.)	7.481	0.1337
Pies cúbicos	Litros	28.32	$3.531 \times 10^{-2}$
Pinta	Cuarto (liq U.S.)	0.50	2
Poundals	Dinas	$1.383 \times 10^4$	$7.233 \times 10^{-5}$
Poundals	Libras (avdp)	$3.108 \times 10^{-2}$	32.17
Pulgada cuadrada	Centímetros cuadrados	6.452	0.155
Pulgada cuadrada	Circular mils	$1.273 \times 10^6$	$7.854 \times 10^{-7}$
Pulgada cuadrada	Mils cuadrados	$10^6$	$10^{-6}$
Pulgada cuadrada	Milímetros cuadrados	645.2	$1.55 \times 10^{-3}$
Pulgada cúbica	Centímetros cúbicos	16.39	$6.102 \times 10^{-2}$
Pulgada cúbica	Galones (liq. U.S.A.)	$4.329 \times 10^{-3}$	231
Pulgada cúbica	Metro cúbico	$1.639 \times 10^{-5}$	$6.102 \times 10^4$
Pulgada cúbica	Pie cúbico	$5.787 \times 10^{-4}$	1728
Pulgadas	cm	2.54	0.3937
Pulgadas	Metros	$2.54 \times 10^{-2}$	39.37
Pulgadas	Mils	$10^3$	$10^{-3}$
Pulgadas	Millas	$1.578 \times 10^{-5}$	$6.336 \times 10^4$
Pulgadas	Mils	$10^3$	$10^{-3}$
Pulgadas	Yardas	$2.778 \times 10^{-2}$	36
Pulgadas	Pie	$8.333 \times 10^{-2}$	12
Radianes	Segundos	$2.06265 \times 10^5$	$4.848 \times 10^{-6}$
Radianes	Mils	$10^3$	$10^{-3}$
Radianes	Minutos	$3.438 \times 10^3$	$2.909 \times 10^{-4}$
Rods	Millas	$3.125 \times 10^{-3}$	320
Rods	Pies	16.5	$6.061 \times 10^{-2}$
Rods	Yardas	5.5	0.1818
Rpm	Grados por segundo	6.0	0.1667
Rpm	Radianes por segundo	0.1047	9.549
Rpm	Rps	$1.667 \times 10^{-2}$	60
Toneladas (cortas)	Libras	2 000	$5 \times 10^{-4}$
Toneladas (largas)	Libras (avdp)	2240	$4.464 \times 10^{-4}$
Tonnes	Libras	2204.63	$4.536 \times 10^{-4}$
Varas	Pies	2.7777	0.36
Volts	Kilovolts	$10^{-3}$	$10^3$
Volts	Microvlts	$10^6$	$10^{-6}$
Volts	Milivolts	$10^3$	$10^{-3}$
Watt-segundo	Joules	1	1



**Tabla 23.7.** Factores de conversión (Continuación)

<i>Para convertir</i>	<i>A.</i>	<i>multiplicar por</i>	<i>A la Inversa multiplicar por</i>
Watts	Btu por hora	3.413	0.293
Watts	Btu por minuto	$5.689 \times 10^{-2}$	17.58
Watts	Caballo de potencia	$1.341 \times 10^{-3}$	746
Watts	Ergs por segundo	$10^7$	$10^{-7}$
Watts	Kilogramo-calorías por minuto	$1.433 \times 10^{-2}$	69.77
Watts	Kilowatts	$10^{-3}$	$10^3$
Watts	Microwatts	$10^6$	$10^{-6}$
Watts	Miliwatts	$10^3$	$10^{-3}$
Watts	Pie-libra por minuto	44.26	$2.26 \times 10^{-2}$
Watts	Pie-libra por segundo	0.7378	1.356
Weber por m <sup>2</sup>	Gausses	$10^4$	$10^{-4}$
Webers	Maxwells	$10^8$	$10^{-8}$
Yarda	Pies	3	.3333
Yardas	Varas	1.08	0.9259

# Ley Federal sobre Metrología y Normalización\*

## SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Presidencia de la República.

**CARLOS SALINAS DE GORTARI**, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes, sabed:

Que el H. Congreso de la Unión se ha servido dirigirme el siguiente

### DECRETO

EL CONGRESO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, DECRETA:

### LEY FEDERAL SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN

#### TÍTULO PRIMERO CAPÍTULO ÚNICO

#### Disposiciones Generales

**ARTÍCULO 1º.** La presente Ley regirá en toda la República y sus disposiciones son de orden público e interés social. Su aplicación y vigilancia corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de las dependencias de la administración pública federal que tengan competencia en las materias reguladas en este ordenamiento.

Siempre que en esta Ley se haga mención a la "Secretaría", se entenderá hecha a la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

**ARTÍCULO 2º.** Esta Ley tiene por objeto:

I. En materia de Metrología:

\* Transcrita del *Diario Oficial de la Federación* (órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos), miércoles 1 de julio de 1992.

- a) Establecer el Sistema General de Unidades de Medidas;
  - b) Precisar los conceptos fundamentales sobre metrología;
  - c) Establecer los requisitos para la fabricación, importación, reparación, venta, verificación y uso de los instrumentos para medir y los patrones de medida;
  - d) Establecer la obligatoriedad de la medición en transacciones comerciales y de indicar el contenido neto en los productos envasados;
  - e) Instituir el Sistema Nacional de Calibración;
  - f) Crear el Centro Nacional de Metrología, como organismo de alto nivel técnico en la materia; y
  - g) Regular, en lo general, las demás materias relativas a la metrología.
- II. En materia de normalización, certificación, acreditamiento y verificación:
- a) Fomentar la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas.
  - b) Instituir la Comisión Nacional de Normalización para que coadyuve en las actividades que sobre normalización corresponde realizar a las distintas dependencias de la administración pública federal;
  - c) Establecer un procedimiento uniforme para la elaboración de normas oficiales mexicanas por las dependencias de la administración pública federal;
  - d) Promover la concurrencia de los sectores público, privado, científico y de consumidores en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas;
  - e) Coordinar las actividades de normalización, certificación, verificación y laboratorios de prueba de las dependencias de la administración pública federal;
  - f) Establecer el sistema nacional de acreditamiento de organismos de normalización y de certificación, unidades de verificación y de laboratorios de prueba y de calibración, y
  - g) En general, divulgar las acciones de normalización y demás actividades relacionadas con la materia.

**ARTÍCULO 3º.** Para los efectos de esta Ley, se entenderá por:

- I. Acreditamiento: el acto mediante el cual la Secretaría reconoce organismos nacionales de normalización, organismos de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración y unidades de verificación, para que lleven a cabo las actividades a que se refiere esta Ley;

- II. Calibración: el conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar los errores de un instrumento para medir y, de ser necesario, otras características metrológicas;
- III. Certificación: procedimiento por el cual se asegura que un producto, proceso, sistema o servicio se ajusta a las normas o lineamientos o recomendaciones de organismos dedicados a la normalización nacionales o internacionales;
- IV. Dependencias: las dependencias de la administración pública federal;
- V. Instrumentos para medir: los medios técnicos con los cuales se efectúan las mediciones y que comprenden las medidas materializadas y los aparatos medidores;
- VI. Medir: el acto de determinar el valor de una magnitud;
- VII. Medida materializada: el dispositivo destinado a reproducir de una manera permanente durante su uso, uno o varios valores conocidos de una magnitud dada;
- VIII. Manifestación: la declaración que hace una persona física o moral a la Secretaría de los instrumentos para medir que se fabriquen, importen, o se utilicen o pretendan utilizarse en el país;
- IX. Método: la forma de realizar una operación del proceso, así como su verificación;
- X. Normas mexicanas: las normas de referencia que emitan los organismos nacionales de normalización;
- XI. Normas oficiales mexicanas: las que expidan las dependencias competentes, de carácter obligatorio sujetándose a lo dispuesto en esta Ley y cuyas finalidades se establecen en el artículo 40.

Las dependencias sólo podrán expedir normas o especificaciones técnicas, criterios, reglas, instructivos, circulares, lineamientos y demás disposiciones de naturaleza análoga de carácter obligatorio, en las materias a que se refiere esta Ley, siempre que se ajuste al procedimiento establecido y se expidan como normas oficiales mexicanas;

- XII. Organismos de certificación: las personas morales que tengan por objeto realizar funciones de certificación;
- XIII. Organismos nacionales de normalización: las personas morales que tengan por objeto elaborar normas mexicanas;
- XIV. Patrón: medida materializada, aparato de medición o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud para transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medición;
- XV. Patrón nacional: el patrón autorizado para obtener, fijar o contrastar el valor de otros patrones de la misma magnitud, que sirve de base para la fijación de los valores de todos los patrones de la magnitud dada;

- XVI. Proceso: el conjunto de actividades relativas a la producción, obtención, elaboración, fabricación, preparación, conservación, mezclado, acondicionamiento, envasado, manipulación, ensamblado, transporte, distribución, almacenamiento y expendio o suministro al público de productos y servicios.
- XVII. Unidades de verificación: las personas físicas o morales que hayan sido acreditadas para realizar actos de verificación por la Secretaría en coordinación con las dependencias competentes; y\*
- XIX. Verificación: la constatación ocular o comprobación mediante muestreo y análisis de laboratorio acreditado, del cumplimiento de las normas.

**ARTÍCULO 4°.** La Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Relaciones Exteriores y en los términos de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, representará al país en todos los eventos o asuntos relacionados con la metrología y normalización a nivel internacional, sin perjuicio de que en dicha representación y conforme a sus atribuciones participen otras dependencias interesadas en razón de su competencia, en coordinación con la propia Secretaría. También podrán participar, previa invitación de la Secretaría, representantes de organismos públicos y privados.

## TÍTULO SEGUNDO

### METROLOGÍA CAPÍTULO I

#### Del Sistema General de Unidades de Medida

**ARTÍCULO 5°.** En los Estados Unidos Mexicanos el Sistema General de Unidades de Medida es el único legal y de uso obligatorio.

El Sistema General de Unidades de Medida se integra, entre otras, con las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades: de longitud, el metro; de masa, el kilogramo; de tiempo, el segundo; de temperatura termodinámica, el kelvin; de intensidad de corriente eléctrica, el ampere; de intensidad luminosa, la candela; y de cantidad de sustancia, el mol, así como con las suplementarias, las derivadas de las unidades base y los múltiplos y submúltiplos de todas ellas, que apruebe la Conferencia General de Pesas y Medidas y se prevean en normas oficiales mexicanas. También se integra con las no comprendidas en el sistema internacional que acepte el mencionado organismo y se incluyan en dicho ordenamiento.

**ARTÍCULO 6°.** Excepcionalmente la Secretaría podrá autorizar el empleo de unidades de medida de otros sistemas por estar relacionados con países

\* Existe un error en la ley: no incluye el párrafo XVIII del Artículo 3°, o el XIX debe ser XVIII.

extranjeros que no hayan adoptado el mismo sistema. En tales casos deberán expresarse, conjuntamente con las unidades de otros sistemas, su equivalencia con las del Sistema General de Unidades de Medida, salvo que la propia Secretaría exima de esta obligación.

**ARTÍCULO 7°.** Las Unidades base, suplementarias y derivadas del Sistema General de Unidades de Medida así como su simbología se consignarán en las normas oficiales mexicanas.

**ARTÍCULO 8°.** Las escuelas oficiales y particulares que formen parte del sistema educativo nacional, deberán incluir en sus programas de estudio la enseñanza del Sistema General de Unidades de Medida.

**ARTÍCULO 9°.** La Secretaría tendrá a su cargo la conservación de los prototipos nacionales de unidades de medida, metro y kilogramo, asignados por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas a los Estados Unidos Mexicanos.

## CAPÍTULO II

### De los Instrumentos para Medir

**ARTÍCULO 10.** Los instrumentos para medir y patrones que se fabriquen en el territorio nacional o se importen y que se encuentren sujetos a norma oficial mexicana, requieren, previa su comercialización, aprobación del modelo o prototipo por parte de la Secretaría sin perjuicio de las atribuciones de otras dependencias. Deberán cumplir con lo establecido en este artículo los instrumentos para medir y patrones que sirvan de base o se utilicen para:

- I. Una transacción comercial o para determinar el precio de un servicio;
- II. La remuneración o estimación, en cualquier forma, de labores personales;
- III. Actividades que puedan afectar la vida, la salud o la integridad corporal;
- IV. Actos de naturaleza pericial, judicial o administrativa; o
- V. La verificación o calibración de otros instrumentos de medición.

**ARTÍCULO 11.** La Secretaría podría requerir de los fabricantes, importadores, comercializadores o usuarios de instrumentos de medición, la verificación o calibración de éstos, cuando se detecten ineficiencias metrológicas en los mismos, ya sea antes de ser vendidos, o durante su utilización.

Para efectos de lo anterior, la Secretaría publicará en el *Diario Oficial de la Federación*, con la debida anticipación, la lista de instrumentos de medición y patrones cuyas verificaciones inicial, periódica o extraordinaria o calibración serán obligatorias, sin perjuicio de ampliarla o modificarla en cualquier tiempo.

**ARTÍCULO 12.** La Secretaría, así como las personas acreditadas por la misma, al verificar los instrumentos para medir, dejarán en poder de los interesados los documentos que demuestren que dicho acto ha sido realizado oficialmente.

**ARTÍCULO 13.** Los recipientes que, no siendo instrumentos para medir, se destinen reiteradamente a contener o transportar materias objeto de transacciones cuya masa se determine midiendo simultáneamente el recipiente y la materia, deberán ostentar visible e indeleblemente con caracteres legibles su tara, la que podrá verificarse en la forma y lugares que fije la Secretaría.

**ARTÍCULO 14.** Los instrumentos para medir cuando no reúnan los requisitos reglamentarios serán inmovilizados antes de su venta o uso hasta en tanto los satisfagan. Los que no puedan acondicionarse para cumplir los requisitos de esta Ley o de su reglamento serán inutilizados.

### CAPÍTULO III

#### De la Medición Obligatoria de las Transacciones

**ARTÍCULO 15.** En toda transacción comercial, industrial o de servicios que se efectúe a base de cantidad, ésta deberá medirse utilizando los instrumentos de medir adecuados, excepto en los casos que señale el reglamento, atendiendo a la naturaleza o propiedades del objeto de la transacción.

La Secretaría determinará los instrumentos para medir apropiados en razón de las materias objeto de transacción y de la mayor eficiencia de la medición.

**ARTÍCULO 16.** Los poseedores de los instrumentos para medir tienen obligación de permitir que cualquier parte afectada por el resultado de la medición se cerciore de que los procedimientos empleados en ella son los apropiados.

**ARTÍCULO 17.** Los instrumentos automáticos para medir que se empleen en los servicios de suministro o abastecimiento de agua, gas o energía eléctrica, quedan sujetos a las siguientes prevenciones:

- I. Las autoridades, empresas o personas que proporcionen directamente el servicio, estarán obligadas a contar con el número suficiente de instrumentos patrón, así como con el equipo de laboratorio necesario para comprobar, por su cuenta, el grado de precisión de los instrumentos en uso;

La Secretaría podrá eximir a los suministradores de contar con equipo de laboratorio, cuando sean varias las empresas que proporcionen el mismo servicio y sufraguen el costo de dicho equipo para uso de la propia Secretaría, caso en el cual el ajuste de los instrumentos corresponderá a ésta;

- II. Los suministradores podrán mover libremente todas las piezas de los instrumentos para medir que empleen para repararlos o ajustarlos, siempre que cuenten con patrones de medida y equipo de laboratorio. En tales casos deberán colocar en dichos instrumentos los sellos necesarios para impedir que personas ajenas a ellas puedan modificar sus condiciones de ajuste;
- III. Las autoridades, empresas o personas que proporcionen los servicios, asumirán la responsabilidad de las condiciones de ajuste de los instrumentos que empleen, siempre que el instrumento respectivo ostente los sellos impuestos por el propio suministrador;
- IV. La Secretaría podrá practicar la verificación de los instrumentos a que se refiere el presente artículo. Cuando se trate de servicios proporcionados por dependencias o entidades paraestatales, que cuenten con el equipo a que se refiere la fracción I, la verificación deberá hacerse por muestreo; y
- V. Con la excepción prevista en la fracción II, en ningún otro caso podrán ser destruidos los sellos que hubiere impuesto el suministrador o, en su caso, la Secretaría. Quienes lo hagan serán acreedores a la sanción respectiva y al pago estimado del consumo que proceda.

**ARTÍCULO 18.** La Secretaría exigirá que los instrumentos para medir que sirvan de base para transacciones, reúnan los requisitos señalados por esta Ley, su reglamento o las normas oficiales mexicanas a fin de que el público pueda apreciar la operación de medición.

**ARTÍCULO 19.** Los poseedores de báscula con alcance máximo de medición igual o mayor a cinco toneladas deberán conservar en el local en que se use la báscula, taras o tener acceso a éstas, cuyo mínimo equivalente sea el 5% del alcance máximo de la misma.

La Secretaría podrá exigir que la operación de dicha báscula se efectúe por personas que reúnan los requisitos de capacidad que se requieran.

**ARTÍCULO 20.** Queda prohibido utilizar instrumentos para medir que no cumplan con las especificaciones fijadas en las normas oficiales mexicanas.

El uso inadecuado de instrumentos para medir en perjuicio de persona alguna será sancionado conforme a la legislación respectiva.

**ARTÍCULO 21.** Los productos empacados o envasados por fabricantes, importadores o comerciantes deberán ostentar en su empaque, envase, envoltura o etiqueta, a continuación de la frase contenido neto, la indicación de la cantidad de materia o mercancía que contengan. Tal cantidad deberá expresarse de conformidad con el Sistema General de Unidades de Medida, con caracteres legibles y en lugares en que se aprecie fácilmente.

Cuando la transacción se efectúe a base de cantidad de partes, accesorios o unidades de efectos, la indicación deberá referirse al número contenido en el empaque o envase y, en su caso, a sus dimensiones.



En los productos alimenticios empacados o envasados el contenido neto deberá corresponder al total. Cuando estén compuestos de partes líquida y sólida, además del contenido neto deberá indicarse la cantidad de masa drenada.

**ARTÍCULO 22.** La Secretaría fijará las tolerancias permisibles en cuanto al contenido neto de los productos empacados o envasados, atendiendo de igual forma, las alteraciones que pudieran sufrir por su naturaleza o por fenómenos que modifiquen la cantidad de que se trate. Dichas tolerancias se fijarán para fines de verificación del contenido neto.

**ARTÍCULO 23.** Si al verificarse la cantidad indicada como contenido neto de los productos empacados o envasados de encontrarse que están fuera de la tolerancia fijada, podrá la Secretaría, además de imponer la sanción administrativa que proceda, prohibir su venta hasta que se remarque el contenido neto de caracteres legibles o se complete éste.

La selección de muestras para la verificación del contenido neto se efectuará al azar y mediante el sistema de muestreo estadístico, en cuyo caso se estará al resultado de la verificación para, de proceder, prohibir la venta en tanto no se remarque o complete el contenido neto.

## CAPÍTULO IV

### Del Sistema Nacional de Calibración

**ARTÍCULO 24.** Se instituye el Sistema Nacional de Calibración con el objeto de procurar la uniformidad y confiabilidad de las mediciones que se realizan en el país, tanto en lo concerniente a las transacciones comerciales y de servicios, como en los procesos industriales y sus respectivos trabajos de investigación científica y de desarrollo tecnológico.

La Secretaría autorizará y controlará los patrones nacionales de las unidades básicas y derivadas del Sistema General de Unidades de Medida y coordinará las acciones tendientes a determinar la exactitud de los patrones e instrumentos para medir que utilicen los laboratorios que se acrediten, en relación con la de los respectivos patrones nacionales, a fin de obtener la uniformidad y confiabilidad de las mediciones.

**ARTÍCULO 25.** El Sistema Nacional de Calibración, se integrará con el Centro Nacional de Metrología, los laboratorios de calibración acreditados y los demás expertos en la materia que se consideren convenientes. En apoyo de dicho Sistema, la Secretaría realizará las siguientes acciones:

- I. Acreditar laboratorios para que presten servicios técnicos de medición y calibración;
- II. Integrar con los laboratorios acreditados cadenas de calibración, de acuerdo con los niveles de exactitud que se les haya asignado;

- III. Difundir la capacidad de medición de los laboratorios acreditados y la integración de las cadenas de calibración;
- IV. Autorizar métodos y procedimientos de medición y calibración y establecer un banco de información para difundirlos en los medios oficiales, científicos, técnicos e industriales.
- V. Establecer convenios, con las instituciones oficiales extranjeras e internacionales para el reconocimiento mutuo de los laboratorios de calibración;
- VI. Celebrar convenios de colaboración e investigación metrológica con gobiernos estatales, instituciones, organismos y empresas tanto nacionales como extranjeras;
- VII. Establecer mecanismos de evaluación periódica de los laboratorios de calibración que formen parte del sistema; y
- VIII. Las demás que se requieran para procurar la uniformidad y confiabilidad de las mediciones.

**ARTÍCULO 26.** La Secretaría acreditará los laboratorios que integran el Sistema Nacional de Calibración mediante comités de evaluación en los términos del artículo 69, siempre que cuenten con las instalaciones, equipo, patrones de medida, personal técnico, organización y métodos operativos adecuados para asegurar la confiabilidad de los servicios que presten.

La acreditación se otorgará por cada prueba específica de calibración o medición que esté en condiciones de efectuar al laboratorio.

**ARTÍCULO 27.** Los laboratorios acreditados podrán prestar servicio de calibración y de operaciones de medición. El resultado de la calibración de patrones de medida y de instrumentos para medir se hará constar en dictamen del laboratorio, suscrito por el responsable del mismo, en el que se indicará el grado de precisión correspondiente, además de los datos que permitan la identificación del patrón de medida o del instrumento para medir.

Las operaciones sobre medición se hará constar en dictámenes que deberá expedir, bajo su responsabilidad, la persona física que cada laboratorio autorice para tal fin.

**ARTÍCULO 28.** La Secretaría podrá suspender o revocar el acreditamiento de los laboratorios de calibración, de acuerdo al procedimiento establecido en los artículos 118 y 119 de esta Ley.

## CAPÍTULO V

### Del Centro Nacional de Metrología

**ARTÍCULO 29.** El Centro Nacional de Metrología es un organismo descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio, con objeto de llevar a cabo funciones de alto nivel técnico en materia de metrología.

**ARTÍCULO 30.** El Centro Nacional de Metrología tendrá las siguientes funciones:

- I. Fungir como laboratorio primario del Sistema Nacional de Calibración;
- II. Conservar el patrón nacional correspondiente a cada magnitud, salvo que su conservación sea más conveniente en otra institución;
- III. Proporcionar servicios de calibración a los patrones de medición de los laboratorios, centros de investigación o a la industria, cuando así se solicite, así como expedir los certificados correspondientes;
- IV. Promover y realizar actividades de investigación y desarrollo tecnológico en los diferentes campos de la metrología, así como coadyuvar a la formación de recursos humanos para el mismo objetivo;
- V. Asesorar a los sectores industriales, técnicos y científicos en relación con los problemas de medición y certificar materiales patrón de referencia;
- VI. Participar en el intercambio de desarrollo metrológico con organismos nacionales e internacionales y en la intercomparación de los patrones de medida;
- VII. Dictaminar a solicitud de parte, sobre la capacidad técnica de calibración o medición de los laboratorios que integren el Sistema Nacional de Calibración;
- VIII. Organizar y participar, en su caso, en congresos, seminarios, conferencias, cursos o en cualquier otro tipo de eventos relacionados con la metrología;
- IX. Celebrar convenios con instituciones de investigación que tengan capacidad para desarrollar patrones primarios o instrumentos de alta precisión, así como instituciones educativas que puedan ofrecer especializaciones en materia de metrología;
- X. Celebrar convenios de colaboración e investigación metrológica con instituciones, organismos y empresas tanto nacionales como extranjeras; y
- XI. Las demás que se requieran para su funcionamiento.

**ARTÍCULO 31.** El Centro Nacional de Metrología estará integrado por un Consejo Directivo, un Director General y el personal de confianza y operativo que se requiera.

Además se constituirán los órganos de vigilancia que correspondan conforme a la Ley Federal de las Entidades Paraestatales.

**ARTÍCULO 32.** El Consejo Directivo del Centro Nacional de Metrología se integrará con el Secretario de Comercio y Fomento Industrial, quien lo presidirá; los subsecretarios cuyas atribuciones se relacionen con la materia, de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público; Energía, Minas e Industria Paraestatal;



Educación Pública; Comunicaciones y Transportes; un representante de la Universidad Nacional Autónoma de México; un representante del Instituto Politécnico Nacional; el Director General del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, sendos representantes de la Confederación Nacional de Cámaras Industriales; de la Cámara Nacional de la Industria de Transformación y de la Confederación Nacional de Cámaras de Comercio y el Director General de Normas de la Secretaría. Por cada miembro propietario se designará un suplente.

A propuesta de cualquiera de los miembros del Consejo Directivo podrá invitarse a participar en las sesiones a representantes de las instituciones de docencia e investigación de alto nivel y de otras organizaciones de industriales.

**ARTÍCULO 33.** El Consejo Directivo tendrá las siguientes atribuciones:

- I. Expedir su estatuto orgánico;
- II. Estudiar y, en su caso, aprobar el programa operativo anual;
- III. Analizar y aprobar, en su caso, los informes periódicos que rinda el Director General, con la intervención que corresponda a los comisarios;
- IV. Aprobar los presupuestos de ingresos y egresos;
- V. Vigilar el ejercicio de los presupuestos a que se refiere la fracción anterior;
- VI. Examinar y, en su caso, aprobar el balance anual y los informes financieros del organismo, debidamente auditados;
- VII. Autorizar la creación de comités técnicos y de apoyo;
- VIII. Expedir el reglamento a que se refiere el artículo 36;
- IX. Aprobar la realización de otras actividades tendientes al logro de las finalidades del Centro Nacional de Metrología; y
- X. Las demás que le señalen las leyes, reglamentos y disposiciones legales aplicables.

**ARTÍCULO 34.** El Director General del Centro Nacional de Metrología será designado por el Presidente de la República. Los servidores públicos de las jerarquías inmediatas inferiores al Director General serán designados por el Consejo Directivo a propuesta del Director General.

**ARTÍCULO 35.** El Director General del Centro Nacional de Metrología tendrá las siguientes facultades y obligaciones:

- I. Representar al organismo ante toda clase de autoridades, con todas las facultades generales a que se refiere el artículo 2554 del Código Civil para el Distrito Federal en Materia Común, y para toda la República en Materia Federal, y las especiales que se requieran para el ejercicio de su cargo;



- II. Elaborar el programa operativo anual y someterlo a consideración del Consejo Directivo; así como procurar la ejecución del que se apruebe;
- III. Establecer y mantener relaciones con los organismos de metrología internacionales y de otros países;
- IV. Constituir y coordinar grupos de trabajo especializados en metrología;
- V. Designar al personal de confianza, salvo el correspondiente a las dos jerarquías inmediatas inferiores a su cargo, sobre la base de lo dispuesto en el artículo siguiente, así como al demás personal;
- VI. Formular el proyecto de presupuesto anual del organismo, someterlo a consideración del Consejo Directivo y vigilar el ejercicio del que se apruebe;
- VII. Rendir los informes periódicos al Consejo Directivo relativos a las actividades realizadas, al presupuesto ejercido y en las demás materias que deba conocer el Consejo Directivo; y
- VIII. Ejecutar los acuerdos del Consejo Directivo y, en general, realizar las actividades para el debido cumplimiento de las funciones del Centro Nacional de Metrología y de los programas aprobados para este fin.

**ARTÍCULO 36.** Las designaciones del Director General y del personal técnico de confianza deberán recaer en profesionales del área de ciencias o de ingeniería con reconocida experiencia en materia de metrología. Las designaciones respectivas se harán con base en los resultados de la evaluación de dichos profesionales. Las promociones se efectuarán sobre la base de la evaluación del desempeño, conforme al reglamento que apruebe el Consejo Directivo para este fin.

El personal del Centro Nacional de Metrología estará incorporado al régimen de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores al Servicio del Estado y sus relaciones con el Centro se registrarán por la Ley Federal de los Trabajadores al Servicio del Estado, Reglamentaria del Apartado B del Artículo 123 Constitucional.

**ARTÍCULO 37.** El patrimonio del Centro Nacional de Metrología se integrará con:

- I. Los bienes que le aporte el Gobierno Federal;
- II. Los recursos que anualmente le asigne el Gobierno Federal dentro del presupuesto aprobado a la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial;
- III. Los ingresos que perciba por los servicios que proporcione y los que resulten del aprovechamiento de sus bienes; y
- IV. Los demás bienes y derechos que adquiera para la realización de sus fines.

## TÍTULO TERCERO

### NORMALIZACIÓN CAPÍTULO I

#### Disposiciones Generales

**ARTÍCULO 38.** Corresponde a las dependencias según su ámbito de competencia:

- I. Contribuir en la integración del Programa Nacional de Normalización con las propuestas de normas oficiales mexicanas;
- II. Expedir normas oficiales mexicanas en las materias relacionadas con sus atribuciones;
- III. Ejecutar el Programa Nacional de Normalización en sus respectivas áreas de competencia.
- IV. Constituir los comités de evaluación y consultivos nacionales de normalización, así como prestarles el asesoramiento necesario;
- V. Certificar, verificar e inspeccionar que los productos, procesos, métodos, instalaciones, servicios o actividades cumplan con las normas oficiales mexicanas.
- VI. Aprobar, previo a su acreditamiento, la operación en su área de competencia de los organismos nacionales de normalización, de certificación, laboratorios de pruebas y unidades de verificación.
- VII. Coordinarse en los casos que proceda con otras dependencias para cumplir con lo dispuesto en esta Ley; y
- VIII. Coordinarse con las instituciones de enseñanza superior para constituir programas de estudio para formar técnicos calificados.

**ARTÍCULO 39.** Corresponde a la Secretaría:

- I. Integrar el Programa Nacional de Normalización con las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas que se pretendan elaborar anualmente;
- II. Codificar las normas oficiales mexicanas por materias y mantener el inventario y la colección de las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas, así como de las normas internacionales y de otros países.
- III. Fungir como Secretario Técnico de la Comisión Nacional de Normalización y de los Comités Nacionales de Normalización, salvo que los propios comités decidan nombrar al secretario técnico de los mismos;
- IV. Acreditar a los organismos nacionales de normalización, de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración y unidades de verificación previa aprobación de las dependencias competentes;

- V. Expedir las normas oficiales mexicanas en las áreas a que se refieren las fracciones I a IV, VI, VIII, IX, XII, XIV, XV y XVII del artículo 40 de la presente Ley;
- VI. Llevar a cabo acciones y programas para el fomento de la calidad de los productos y servicios mexicanos;
- VII. Coordinarse con las demás dependencias para el adecuado cumplimiento de las disposiciones de esta Ley, en base a las atribuciones de cada dependencia;
- VIII. Participar con voz y voto en todos los comités consultivos nacionales de normalización en los que se afecten las actividades industriales o comerciales; y
- IX. Coordinarse con las instituciones de enseñanza superior para constituir programas de estudio para formar técnicos calificados.

## CAPÍTULO II

### De las Normas Oficiales Mexicanas

**ARTÍCULO 40.** Las normas oficiales mexicanas tendrán como finalidad establecer:

- I. Las características y/o especificaciones que deban reunir los productos y procesos cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal, el medio ambiente general y laboral, o para la preservación de recursos naturales.
- II. Las características y/o especificaciones de los productos utilizados como materias primas o partes o materiales para la fabricación o ensamble de productos finales sujetos al cumplimiento de normas oficiales mexicanas, siempre que para cumplir las especificaciones de éstos sean indispensables las de dichas materias primas, partes o materiales;
- III. Las características y/o especificaciones que deban reunir los servicios cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal o el medio ambiente general y laboral o cuando se trate de la prestación de servicios de forma generalizada para el consumidor;
- IV. Las características y/o especificaciones relacionadas con los instrumentos para medir, los patrones de medida y sus métodos de medición, verificación, calibración y trazabilidad;
- V. Las especificaciones y/o procedimientos de envase y embalaje de los productos que puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud de las mismas o el medio ambiente;

- VI. Los métodos de prueba y/o procedimientos para comprobar las especificaciones a que se refiere este artículo y el equipo y materiales adecuados para efectuar las pruebas correspondientes, así como los procedimientos de muestreo;
- VII. Las condiciones de salud, seguridad e higiene que deberán observarse en los centros de trabajo y otros centros públicos de reunión;
- VIII. La nomenclatura, expresiones, abreviaturas, símbolos, diagramas o dibujos que deberán emplearse en el lenguaje técnico industrial, comercial, de servicios o de comunicación;
- IX. La descripción de emblemas, símbolos y contraseñas para fines de esta Ley;
- X. Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales;
- XI. Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover la salud de las personas, animales o vegetales;
- XII. La determinación de la información comercial, sanitaria, ecológica, de calidad, seguridad e higiene y requisitos que deben cumplir las etiquetas, envases, embalaje y la publicidad de los productos y servicios para dar información al consumidor o usuario;
- XIII. Las características y/o especificaciones que deben reunir los equipos, materiales, dispositivos e instalaciones industriales, comerciales, de servicios y domésticas para fines sanitarios, acuícolas, agrícolas, pecuarios, ecológicos, de comunicaciones, de seguridad o de calidad y particularmente cuando sean peligrosos.
- XIV. Los requisitos y procedimientos que deberán observarse en la elaboración de normas mexicanas y en la certificación del cumplimiento de las mismas;
- XV. Los apoyos a las denominaciones de origen para productos del país;
- XVI. Las características y/o especificaciones que deban reunir los aparatos, redes y sistemas de comunicación, así como vehículos de transporte, equipos y servicios conexos para proteger las vías generales de comunicación y la seguridad de sus usuarios;
- XVII. Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos para el manejo, transporte y confinamiento de materiales y residuos industriales peligrosos y de las sustancias radioactivas; y
- XVIII. Otras en que se requiera normalizar productos, métodos, procesos, sistemas o prácticas industriales, comerciales o de servicios de conformidad con otras disposiciones legales, siempre que se observe lo dispuesto por los artículos 45 y 47.



**ARTÍCULO 41.** Las normas oficiales mexicanas deberán contener:

- I. La denominación de la norma, su clave y en su caso, la mención a las normas en que se basa;
- II. La identificación del producto, servicio, método, proceso, instalación o, en su caso, del objeto de la norma conforme a lo dispuesto en el artículo precedente;
- III. Las especificaciones y características que correspondan al producto, servicio, método, proceso, instalación o establecimientos que se establezcan en la norma en razón de su finalidad;
- IV. Los métodos de prueba aplicables en relación con la norma y en su caso, los de muestreo;
- V. Los datos y demás información que deban contener los productos o, en su defecto, sus envases o empaques, así como el tamaño y características de las diversas indicaciones;
- VI. El grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales cuando existan;
- VII. La bibliografía que corresponda a la norma;
- VIII. La mención de la o las dependencias que vigilarán el cumplimiento de las normas cuando exista concurrencia de competencias; y
- IX. Las otras menciones que se consideren convenientes para la debida comprensión y alcance de la norma.

**ARTÍCULO 42.** Las normas mexicanas deberán cumplir con lo dispuesto en las fracciones I a VII y IX del artículo anterior.

**ARTÍCULO 43.** En la elaboración de normas oficiales mexicanas participarán, ejerciendo sus respectivas atribuciones, las dependencias a quienes corresponda la regulación o control del producto, servicio, método, proceso o instalación, actividad o materia a normalizarse.

**ARTÍCULO 44.** Corresponde a las dependencias elaborar los anteproyectos de normas oficiales mexicanas y someterlos a los comités consultivos nacionales de normalización.

Asimismo, los organismos nacionales de normalización podrán someter a dichos comités, como anteproyectos, las normas mexicanas que emitan.

Los comités consultivos nacionales de normalización, con base en los anteproyectos mencionados, elaborarán a su vez los proyectos de normas oficiales mexicanas, de conformidad con lo dispuesto en el presente capítulo.

Para la elaboración de normas oficiales mexicanas deberán tomarse en consideración las normas mexicanas y las emitidas por organismos internacionales reconocidos por el gobierno mexicano en los términos del derecho internacional.

Las personas interesadas podrán presentar a las dependencias, propuestas de normas oficiales mexicanas, las cuales harán la evaluación correspondiente y en su caso, presentarán al comité respectivo el anteproyecto de que se trate.

**ARTÍCULO 45.** Los anteproyectos que se presenten en los comités para discusión, deberán acompañarse de un análisis que comprenda:

- I. La razón científica, técnica o de protección al consumidor de la norma, que apoyen su formulación y expedición;
- II. La descripción de los beneficios potenciales de la norma, incluyendo los beneficios que no pueden ser cuantificados en términos monetarios y la identificación de aquellas personas o grupos que se beneficiarían por la norma;
- III. La descripción de los costos potenciales de la norma, incluyendo cualquier efecto adverso que no pueda ser cuantificado en términos monetarios y la identificación de las personas o grupos que tendrían la carga de los costos;
- IV. La cuantificación en términos monetarios de los beneficios netos potenciales de la norma, incluyendo una evaluación de los efectos que no pueden ser cuantificados en términos monetarios; y
- V. La justificación de por qué la norma oficial mexicana es entre otras alternativas posibles, el mecanismo que permite alcanzar el objetivo deseado con el mayor beneficio neto. Esta justificación deberá incluir una descripción de los otros mecanismos que permitan alcanzar el mismo objetivo con mayor beneficio neto que la norma oficial mexicana propuesta, y las razones legales o de otra índole por las cuales estos mecanismos no fueron adoptados. Cuando no existan mecanismos alternativos deberá hacerse mención de ello en el análisis.

Sólo se podrán expedir normas oficiales mexicanas que cumplan con lo dispuesto en este artículo, salvo que se trate del caso previsto en el artículo 48 de la presente Ley.

**ARTÍCULO 46.** La elaboración y modificación de normas oficiales mexicanas se sujetará a las siguientes reglas:

- I. Los anteproyectos a que se refiere el artículo 44, se presentarán directamente al comité consultivo nacional de normalización respectivo, para que en un plazo que no excederá los 75 días naturales, formule observaciones; y
- II. La dependencia u organismo que elaboró el anteproyecto de norma, contestará fundadamente las observaciones presentadas por el Comité en un plazo no mayor de 30 días naturales contado a partir de la fecha en que le fueron presentadas y, en su caso, hará las modificaciones

correspondientes. Cuando la dependencia que presentó el proyecto, no considere justificadas las observaciones presentadas por el Comité, podrá solicitar a la presidencia de éste, sin modificar su anteproyecto, ordene la publicación como proyecto, en el *Diario Oficial de la Federación*.

**ARTÍCULO 47.** Los proyectos de normas oficiales mexicanas se ajustarán al siguiente procedimiento:

- I. Se publicarán íntegramente en el *Diario Oficial de la Federación* a efecto de que dentro de los siguientes 90 días naturales los interesados presenten sus comentarios al comité consultivo nacional de normalización correspondiente. Durante este plazo los análisis a que se refiere el artículo 45 estarán a disposición del público para su consulta en el comité;
- II. Al término del plazo a que se refiere de la fracción anterior, el comité consultivo nacional de normalización correspondiente estudiará los comentarios recibidos y, en su caso, procederá a modificar el proyecto en un plazo que no excederá los 45 días naturales;
- III. Las dependencias deberán ordenar la publicación de las respuestas a los comentarios recibidos, con anterioridad a la publicación de la norma oficial mexicana; y
- IV. Una vez aprobadas por el comité de normalización respectivo, las normas oficiales mexicanas serán expedidas por la dependencia competente y publicadas en el *Diario Oficial de la Federación*.

Cuando dos o más dependencias sean competentes para regular un bien, servicio, proceso, actividad o materia, deberán expedir las normas oficiales mexicanas conjuntamente. En todos los casos, el presidente del comité será el encargado de ordenar las publicaciones en el *Diario Oficial de la Federación*.

Lo dispuesto en este artículo no se aplicará en el caso del artículo siguiente:

**ARTÍCULO 48.** En casos de emergencia, la dependencia competente podrá elaborar directamente, aún sin haber mediado anteproyecto o proyecto y, en su caso, con la participación de las demás dependencias competentes, la norma oficial mexicana, misma que ordenará se publique en el *Diario Oficial de la Federación* con una vigencia máxima de seis meses. En ningún caso se podrá expedir más de dos veces consecutivas la misma norma en los términos de este artículo.

Si la dependencia que elaboró la norma decidiera extender el plazo de vigencia o hacerla permanente, se presentará como anteproyecto en los términos de las fracciones I y II del artículo 46.

**ARTÍCULO 49.** Cuando no subsistan las causas que motivaron la expedición de una norma oficial mexicana, las dependencias competentes, la Comisión Nacional de Normalización, o los miembros del comité consultivo nacional de normalización correspondiente, podrán proponer al comité la cancelación de la norma. Para tal efecto se ajustarán a lo dispuesto en los artículos 45 y 47 de esta Ley.



**ARTÍCULO 50.** Las dependencias podrán requerir de fabricantes, importadores, prestadores de servicios, consumidores o centros de investigación, los datos necesarios para la elaboración de anteproyectos de normas oficiales mexicanas. También podrán recabar, de éstos para los mismos fines, las muestras estrictamente necesarias, las que serán devueltas una vez efectuado su estudio, salvo que para éste haya sido necesaria su destrucción.

Toda la información y documentación que se alleguen las dependencias para la elaboración de anteproyectos de normas oficiales mexicanas, así como para cualquier trámite administrativo relativo a las mismas, se empleará exclusivamente para tales fines, tendrá el carácter de confidencial y no será divulgada, gozando de la protección establecida en la Ley para el Fomento y Protección de la Propiedad Industrial.

**ARTÍCULO 51.** Para la modificación de las normas oficiales mexicanas deberá cumplirse con el procedimiento para su elaboración.

### CAPÍTULO III

#### De la Observancia de las Normas

**ARTÍCULO 52.** Todos los productos, procesos, métodos, instalaciones, servicios o actividades deberán cumplir con las normas oficiales mexicanas.

**ARTÍCULO 53.** Cuando un producto o servicio deba cumplir una determinada norma oficial mexicana, sus similares a importarse también deberán cumplir las especificaciones establecidas en dicha norma.

Para tal efecto, antes de su internación al país, se deberá contar con el certificado o autorización de la dependencia competente para regular el producto o servicio correspondiente; o de órganos reguladores extranjeros que hayan sido reconocidos o aprobados por las dependencias competentes, mediante acuerdos publicados en el *Diario Oficial de la Federación*; o de organismos de certificación acreditados.

Cuando no exista norma oficial mexicana, los productos o servicios a importarse deberán mencionar ostensiblemente, antes y durante su comercialización, que cumplen con las especificaciones del país de origen, en su defecto las internacionales o a falta de éstas las del fabricante.

**ARTÍCULO 54.** Las normas mexicanas, constituirán referencias para determinar la calidad de los productos y servicios de que se trate, particularmente para la protección y orientación de los consumidores. Dichas normas en ningún caso podrán contener especificaciones inferiores a las establecidas en las normas oficiales mexicanas.

**ARTÍCULO 55.** En las controversias de carácter civil, mercantil o administrativo, cuando no se especifiquen las características de los bienes o servicios, las autoridades judiciales o administrativas competentes en sus resoluciones debe-



rán tomar como referencia las normas oficiales mexicanas y en su defecto las normas mexicanas.

Sin perjuicio de lo dispuesto por la ley de la materia, los bienes o servicios que adquieran o arrienden las dependencias y entidades de la administración pública federal, deberán cumplir con las especificaciones fijadas en las normas oficiales mexicanas.

**ARTÍCULO 56.** Los productores, fabricantes y los prestadores de servicios sujetos a normas oficiales mexicanas deberán mantener sistemas de control de calidad compatibles con las normas aplicables. También estarán obligados a verificar sistemáticamente las especificaciones del producto o servicio y sus procesos, utilizando equipo suficiente y adecuado de laboratorio y el método de prueba apropiado, así como llevar un control estadístico de la producción en formal tal, que objetivamente se aprecie el cumplimiento de dichas especificaciones.

**ARTÍCULO 57.** Cuando los productos o los servicios sujetos al cumplimiento de determinada norma oficial mexicana, no reúnan las especificaciones correspondientes, la autoridad competente prohibirá de inmediato su comercialización, inmovilizando los productos, hasta en tanto se acondicionen, reprocesen, reparen o sustituyan. De no ser esto posible, se tomarán las providencias necesarias para que no se usen o presten para el fin a que se destinarían de cumplir dichas especificaciones.

Si el producto o servicio se encuentra en el comercio, los comerciantes o prestadores tendrán la obligación de abstenerse de su enajenación o prestación a partir de la fecha en que se les notifique la resolución o se publique en el *Diario Oficial de la Federación*. Cuando el incumplimiento de la norma pueda dañar significativamente la salud de las personas, animales, plantas, ambiente o ecosistemas, los comerciantes se abstendrán de enajenar los productos o prestar los servicios desde el momento en que se haga de su conocimiento. Los medios de comunicación masiva deberán difundir tales hechos de manera inmediata a solicitud de la dependencia competente.

Los productores, fabricantes, importadores y sus distribuidores serán responsables de recuperar de inmediato los productos.

Quienes resulten responsables del incumplimiento de la norma tendrán la obligación de reponer a los comerciantes los productos o servicios cuya venta o prestación se prohíba, por otros que cumplan las especificaciones correspondientes, o en su caso, reintegrarles o bonificarles su valor, así como cubrir los gastos en que se incurra para el tratamiento, reciclaje o disposición final, conforme a los ordenamientos legales y las recomendaciones de expertos reconocidos en la materia de que se trate.

El retraso en el cumplimiento de lo establecido en el párrafo anterior podrá sancionarse con multas por cada día que transcurra, de conformidad a lo establecido en la fracción I del artículo 112 de la presente Ley.



## CAPÍTULO IV

### De la Comisión Nacional de Normalización

**ARTÍCULO 58.** Se instituye la Comisión Nacional de Normalización con el fin de coadyuvar en la política de normalización y permitir la coordinación de actividades que en esta materia corresponda realizar a las distintas dependencias y entidades de la administración pública federal.

**ARTÍCULO 59.** Integrarán la Comisión Nacional de Normalización:

- I. Los subsecretarios correspondientes de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público; Desarrollo Social; Energía, Minas e Industria Paraestatal; Comercio y Fomento Industrial; Agricultura y Recursos Hidráulicos; Comunicaciones y Transportes; Salud; Trabajo y Previsión Social; Turismo; y Pesca;
- II. Sendos representantes de la Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Enseñanza Superior, de las cámaras y asociaciones de industriales y comerciales del país que determinen las dependencias; organismos nacionales de normalización y organismos del sector social productivo; y
- III. Los titulares del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; de los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial; del Centro Nacional de Metrología; del Instituto Nacional de Ecología, del Instituto Nacional del Consumidor; del Instituto Mexicano de Comunicaciones; del Instituto Mexicano del Transporte; del Instituto Nacional de Pesca y de los institutos de investigación que se consideren pertinentes.

Por cada propietario podrá designarse un suplente para cubrir las ausencias temporales de aquél exclusivamente.

Asimismo, podrá invitarse a participar en las sesiones de la Comisión a representantes de otras dependencias, de las entidades federativas, organismos públicos y privados, organizaciones de trabajadores, consumidores y profesionales e instituciones científicas y tecnológicas, cuando se traten temas de su competencia, especialidad o interés.

La Comisión será presidida rotativamente durante seis meses por los subsecretarios en el orden establecido en la fracción I de este artículo.

Para el desempeño de sus funciones, la Comisión contará con un secretariado técnico a cargo de la Secretaría.

**ARTÍCULO 60.** La Comisión tendrá las siguientes funciones:

- I. Aprobar anualmente el Programa Nacional de Normalización y vigilar su cumplimiento.



- II. Establecer reglas de coordinación entre las dependencias y entidades de la administración pública federal y organizaciones privadas para la elaboración y difusión de normas y su cumplimiento.
- III. Recomendar la elaboración de las normas que considere conveniente;
- IV. Resolver las discrepancias que puedan presentarse en los trabajos de los comités consultivos nacionales de normalización;
- V. Opinar, cuando se le solicite, sobre el acreditamiento de organismos nacionales de normalización;
- VI. Proponer la integración de grupos de trabajo para el estudio e investigación de materias específicas;
- VII. Proponer las medidas que se estimen oportunas para el fomento de la normalización;
- VIII. Dictar los lineamientos para la organización de los comités de evaluación y consultivos nacionales de normalización; y
- IX. Todas aquellas que sean necesarias para la realización de las funciones señaladas.

El reglamento interior de la Comisión determinará la manera conforme la cual se realizarán estas funciones.

**ARTÍCULO 61.** Las sesiones de la Comisión Nacional de Normalización serán convocadas por el secretario técnico a petición de su presidente o de cualquiera de los integrantes a que se refiere el artículo 59 y se celebrarán por lo menos una vez cada 3 meses.

En el caso de las fracciones I, II, IV, VIII del artículo anterior, las decisiones se tomarán por mayoría de votos de los miembros a que se refiere la fracción I del artículo 59 y las sesiones serán válidas con la asistencia de por lo menos siete de éstos. En los demás casos, por la mayoría de todos los miembros, pero deberán asistir por lo menos cuatro de los representantes mencionados en la fracción II del mismo artículo.

## CAPÍTULO V

### De los Comités Consultivos Nacionales de Normalización

**ARTÍCULO 62.** Los comités consultivos nacionales de normalización son órganos para la elaboración de normas oficiales mexicanas y la promoción de su cumplimiento. Estarán integrados por personal técnico de las dependencias competentes, según la materia que corresponda al comité, organizaciones de industriales, prestadores de servicios, comerciantes, productores agropecuarios, forestales o pesqueros; centros de investigación científica o tecnológica, colegios de profesionales y consumidores.

Las dependencias competentes, en coordinación con el secretariado técnico de la Comisión Nacional de Normalización determinarán qué organizaciones de las mencionadas en el párrafo anterior, deberán integrar el comité consultivo de que se trate, así como en el caso de los comités que deban constituirse para participar en actividades de normalización internacional.

**ARTÍCULO 63.** Las dependencias competentes, de acuerdo con los lineamientos que dicte la Comisión Nacional de Normalización, organizarán los comités consultivos nacionales de normalización y fijarán las reglas para su operación. La dependencia que regule el mayor número de actividades del proceso de un bien o servicio dentro de cada comité, tendrá la presidencia correspondiente.

**ARTÍCULO 64.** Las resoluciones de los comités deberán tomarse por consenso; de no ser esto posible, por mayoría de votos de los miembros. Para que las resoluciones tomadas por mayoría sean válidas, deberán votar favorablemente cuando menos la mitad de las dependencias representadas en el comité y contar con el voto aprobatorio del presidente del mismo. En ningún caso se podrá expedir una norma oficial mexicana que contravenga otras disposiciones legales o reglamentarias.

## CAPÍTULO VI

### De los Organismos Nacionales de Normalización

**ARTÍCULO 65.** Para obtener el acreditamiento por la Secretaría como organismo nacional de normalización, se requerirá la aprobación previa de la dependencia competente según la materia de que se trate. El solicitante deberá:

- I. Presentar solicitud por escrito;
- II. Presentar sus estatutos para aprobación de la Secretaría en donde conste que:
  - a) Tienen por objeto social el de normalizar;
  - b) Sus labores de normalización se lleven a cabo a través de comités integrados de manera equilibrada por personal técnico que represente a nivel nacional a productores, distribuidores, comercializadores, prestadores de servicios, consumidores, instituciones de educación superior y científica, colegios de profesionales, así como sectores de interés general y sin exclusión de ningún sector de la sociedad que pueda tener interés en sus actividades; y
  - c) Tengan cobertura nacional; y
- III. Presentar a la Secretaría el programa de financiamiento que asegure la continuidad en sus actividades.



**ARTÍCULO 66.** Los organismos nacionales de normalización tendrán las siguientes obligaciones:

- I. Permitir la participación de todos los sectores interesados en los comités para la elaboración de normas mexicanas, así como de las dependencias y entidades de la administración pública federal competentes;
- II. Conservar las minutas de las sesiones de los comités y de otras deliberaciones, decisiones o acciones que permitan la verificación por parte de la Secretaría, y presentar los informes que ésta les requiera;
- III. Hacer del conocimiento público los proyectos de normas que pretendan emitir y atender cualquier solicitud de información que sobre éstos o sus normas hagan los interesados;
- IV. Celebrar convenios de cooperación con la Secretaría a fin de que ésta pueda, entre otras, mantener actualizada la colección de normas mexicanas;
- V. Admitir en su órgano de gobierno a un representante de la Secretaría; y
- VI. Tener sistemas apropiados para la identificación y clasificación de normas.

**ARTÍCULO 67.** Las entidades de la administración pública federal, deberán constituir comités de normalización para la elaboración de las normas de referencia conforme a las cuales adquieran, arrienden o contraten bienes o servicios.

Dichos comités se ajustarán en lo conducente a lo dispuesto por los artículos 62 y 64 de esta Ley.

## TÍTULO CUARTO

### DE LA ACREDITACIÓN Y CERTIFICACIÓN

#### CAPÍTULO I

##### Disposiciones Generales

**ARTÍCULO 68.** La certificación y verificación de las normas oficiales mexicanas se realizará por las dependencias o por organismos de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración y unidades de verificación acreditados.

**ARTÍCULO 69.** La Secretaría deberá acreditar, previa la aprobación de las dependencias competentes, a las personas físicas o morales para operar como organismos de certificación, laboratorios de prueba y unidades de verificación.

Para la aprobación a que se refiere el párrafo anterior, las dependencias formarán comités de evaluación integrados por técnicos calificados y con experiencia en los campos de las ramas específicas.

En los casos en que el organismo, laboratorio o unidades por acreditar pretendan ofrecer servicios para dos o más dependencias, los comités correspon-

dientes evaluarán y dictaminarán de manera conjunta la procedencia del acreditamiento.

**ARTÍCULO 70.** Presentada la solicitud de acreditamiento, el comité de evaluación correspondiente procederá a realizar las visitas que sean necesarias para determinar si se cumplen los requisitos que fije la Ley, su reglamento y las normas oficiales mexicanas.

Cuando los comités de evaluación no cuenten con expertos en determinada área, las dependencias notificarán al solicitante sobre este hecho y tomarán las medidas necesarias para contar con tales expertos. Cuando los expertos no sean personal de la dependencia, los honorarios de éstos correrán por cuenta de los solicitantes.

En caso de no ser favorable el dictamen del comité, se otorgará un plazo de 180 días naturales al solicitante para corregir las faltas encontradas. Dicho plazo podrá prorrogarse por plazos iguales, cuando se justifique la necesidad de ello.

**ARTÍCULO 71.** Las dependencias competentes podrán en cualquier tiempo realizar visitas de verificación para comprobar el cumplimiento de esta Ley, sus reglamentos y las normas oficiales mexicanas, por parte de los organismos de certificación, de las unidades de verificación y de laboratorios acreditados.

**ARTÍCULO 72.** La Secretaría publicará en el *Diario Oficial de la Federación*, periódicamente, la relación de los organismos nacionales de normalización, de los organismos de certificación, de laboratorios de pruebas y de calibración y de las unidades de verificación acreditados. Publicará también las suspensiones y revocaciones.

## CAPÍTULO II

### De la Certificación Oficial

**ARTÍCULO 73.** Las dependencias de acuerdo con sus atribuciones, certificarán para fines oficiales que determinados procesos, productos, métodos, instalaciones, servicios o actividades cumplen las especificaciones establecidas en normas oficiales mexicanas. También podrán hacerlo a petición de parte, para fines particulares o de exportación.

Podrán certificar el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas y de las normas mexicanas, por materias o sectores, los organismos de certificación acreditados conforme a lo dispuesto por esta Ley y su reglamento.

**ARTÍCULO 74.** Las dependencias a que se refiere el artículo anterior y los organismos de certificación podrán también certificar que los productos han sido elaborados con determinadas materias primas, o materiales o mediante procedimientos específicos que los distingan en calidad respecto a otros de la misma naturaleza, siempre y cuando se cercioren fehacientemente de las materias primas o procedimientos empleados.



**ARTÍCULO 75.** Es obligatorio el contraste de los artículos de joyería y orfebrería elaborados con plata, oro, platino, paladio y demás metales preciosos, la certificación se efectuará sobre los artículos que contengan como mínimo la Ley del metal que se establezca en las normas oficiales mexicanas respectivas.

### CAPÍTULO III

#### De las Contraseñas y Marcas Oficiales

**ARTÍCULO 76.** La Secretaría en coordinación con las dependencias competentes, establecerá las características de las marcas y contraseñas oficiales que deberán de llevar los productos sujetos al cumplimiento de normas oficiales mexicanas.

**ARTÍCULO 77.** Los productos o servicios sujetos al cumplimiento de normas oficiales mexicanas, deberán ostentar la contraseña que denote dicho cumplimiento.

De no ser posible fijarla en el producto mismo, se hará en sus envases, embalaje, etiquetas o envolturas. Además, podrá utilizarse en las facturas, correspondencia y publicidad relativa al producto o servicio de que se trate.

La Secretaría y las dependencias, conforme a sus respectivas competencias, verificarán periódicamente que el uso de contraseña oficial corresponda a lo dispuesto en este artículo.

**ARTÍCULO 78.** La Secretaría autorizará el uso de las marcas y contraseñas oficiales a aquellas personas que demuestren cumplir con lo dispuesto en esta Ley, su Reglamento y las normas oficiales mexicanas respectivas.

Se podrá permitir el uso de marcas o contraseñas distintivas de organismos de certificación acreditados. También podrá permitirse su uso de manera conjunta con las marcas y contraseñas oficiales si esto no induce a error al consumidor sobre las características del bien o servicio.

### CAPÍTULO IV

#### De los Organismos de Certificación

**ARTÍCULO 79.** Para operar como organismo de certificación, será necesario contar con el acreditamiento de la Secretaría en los términos del artículo 69, mismo que se otorgará siempre que se cumpla con lo siguiente:

- I. Solicitar por escrito el acreditamiento a la Secretaría y la aprobación de la dependencia correspondiente;
- II. Demostrar que cuenta con la capacidad técnica, material y humana para llevar a cabo programas de certificación;



- III. Demostrar que cuenta con procedimientos de aseguramiento de calidad, que garanticen el desempeño de sus funciones;
- IV. Demostrar no estar sujeto a influencia directa por algún fabricante, comerciante o persona moral mercantil; y
- V. Presentar sus estatutos y propuestas de actividades de certificación para aprobación.

**ARTÍCULO 80.** Las actividades de certificación, deberán ajustarse a las reglas, procedimientos y métodos que se establezcan en las normas oficiales mexicanas, y en su defecto a las normas internacionales. Las actividades deberán comprender lo siguiente:

- I. Evaluación de los procesos, productos, servicios e instalaciones, mediante inspección ocular, pruebas, investigación de campo o revisión y evaluación de los programas de calidad; y
- II. Seguimiento posterior a la certificación inicial, para comprobar el cumplimiento con las normas y contar con mecanismos que permitan proteger y evitar la divulgación de propiedad industrial o intelectual del cliente.

## CAPÍTULO V

### De los Laboratorios de Pruebas

**ARTÍCULO 81.** Se instituye el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas con el objeto de contar con una red de laboratorios acreditados que cuenten con equipo suficiente, personal técnico calificado y demás requisitos que establezca el reglamento, para que presten servicios relacionados con la normalización a que se refiere esta Ley.

Los laboratorios acreditados podrán denotar tal circunstancia usando el emblema oficial del sistema nacional de acreditamiento de laboratorios de pruebas.

La Secretaría, por sí o a solicitud de cualquier dependencia competente podrá concertar convenios con instituciones oficiales extranjeras e internacionales para el reconocimiento mutuo de laboratorios de pruebas acreditados.

**ARTÍCULO 82.** Para el acreditamiento de laboratorios de pruebas se estará a lo dispuesto en el artículo 69.

**ARTÍCULO 83.** El resultado de las pruebas que realicen los laboratorios acreditados, para los fines de esta Ley, se hará constar en un dictamen que será firmado, bajo su responsabilidad por la persona facultada por el propio laboratorio para hacerlo. Dichos dictámenes tendrán validez ante las dependencias y entidades de la administración pública federal.



## CAPÍTULO VI

## De las Unidades de Verificación

**ARTÍCULO 84.** Las unidades de verificación podrán, a petición de parte interesada, verificar el cumplimiento de normas oficiales mexicanas, solamente en aquellos campos o actividades para las que hubieren sido aprobadas por las dependencias competentes.

**ARTÍCULO 85.** Los dictámenes de las unidades de verificación serán reconocidos por las dependencias competentes, así como por los organismos de certificación y en base a ellos podrán actuar en los términos de esta Ley y conforme a sus respectivas atribuciones.

**ARTÍCULO 86.** Para operar como unidad de verificación será necesario contar con el acreditamiento de la Secretaría, en los términos del artículo 69, mismo que se otorgará siempre que se cumpla con lo siguiente:

- I. Solicitar por escrito el acreditamiento a la Secretaría y la aprobación de la dependencia correspondiente;
- II. Presentar una descripción detallada de los servicios que pretende prestar;
- III. Demostrar que se cuenta con capacidad técnica o profesional suficiente y, en su caso, con el personal capacitado para la prestación del servicio que se pretende ofrecer. Las normas oficiales mexicanas determinarán los niveles de suficiencia técnica o profesional para la materia de que se trate;
- IV. Demostrar contar con la infraestructura suficiente y adecuada relacionada con los servicios que pretende prestar;
- V. Informar de las normas oficiales mexicanas que se pretendan verificar, y se describan los procedimientos que se utilicen para la prestación de los servicios; y
- VI. Contar con la aprobación de la dependencia competente para la rama de que se trate.

**ARTÍCULO 87.** El resultado de las operaciones que realicen las unidades de verificación se hará constar en un acta que será firmada, bajo su responsabilidad, por el acreditado en el caso de las personas físicas y por el propietario del establecimiento o por el presidente del consejo de administración, administrador único o director general de la propia unidad de verificación reconocidos por las dependencias, y tendrá validez una vez que haya sido reconocido por la dependencia conforme a las funciones que hayan sido específicamente autorizadas a la misma.

## TÍTULO QUINTO

### DE LA VERIFICACIÓN

#### CAPÍTULO ÚNICO

#### Verificación y Vigilancia

**ARTÍCULO 88.** Las personas físicas o morales tendrán la obligación de proporcionar a las autoridades competentes los documentos, informes y datos que les requieran por escrito, así como las muestras de productos que se les soliciten cuando sean necesarios para los fines de la presente ley y demás disposiciones derivadas de ella. En todo caso, respecto a las muestras se estará a lo dispuesto en los artículos 101 al 108 de la presente ley.

**ARTÍCULO 89.** La Secretaría llevará un registro con información actualizada de:

- I. Empresas que realicen algún proceso o una fase del mismo, cuando éste o los productos o servicios, se encuentren sujetos a normas oficiales mexicanas o cuando ostenten contraseñas o marcas oficiales;
- II. Organismos nacionales de normalización, de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración acreditados ante la Secretaría, así como de unidades de verificación; y
- III. En general, de toda aquella que se requiera para los fines de esta Ley.

La Secretaría deberá proporcionar esta información a las dependencias competentes, cuando así lo soliciten.

**ARTÍCULO 90.** Las personas a que se refiere el artículo anterior, para su registro deberán proporcionar a la Secretaría la siguiente información:

- I. Nombre y domicilio;
- II. Ubicación precisa del establecimiento donde se realice el proceso o alguna fase del mismo o en donde se presten los servicios; y
- III. Línea o líneas de productos o servicios que se manejan.

**ARTÍCULO 91.** Las dependencias competentes deberán periódica, aleatoriamente o cuando lo estimen necesario, y utilizando los métodos de muestreo estadístico establecidos en las normas oficiales mexicanas, realizar muestreos en los lugares donde se producen, fabrican, almacenan, expenden o prestan productos y servicios sujetos a normas oficiales mexicanas, con el objeto de verificar el cumplimiento de las especificaciones aplicables.

La verificación se efectuará únicamente en laboratorios acreditados, salvo que éstos no existan para la prueba específica, se podrá realizar en otros, siempre

con cargo al productor, fabricante, importador, comercializador o prestador de servicios a quien se efectúe la visita.

Las dependencias competentes presumirán el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas en aquellos casos en que el interesado cuente con certificado expedido por organismo nacional de certificación.

**ARTÍCULO 92.** De cada visita de verificación efectuada por el personal de las dependencias competentes o unidades de verificación, se expedirá un acta detallada, sea cual fuere el resultado, la que será firmada por el representante de las dependencias o unidades, en su caso por el del laboratorio en que se hubiere realizado, y el fabricante o prestador del servicio si hubiere intervenido.

La falta de participación del fabricante o prestador del servicio en las pruebas o su negativa a firmar el acta, no afectará su validez.

**ARTÍCULO 93.** Si el producto o el servicio no cumplen satisfactoriamente las especificaciones, la Secretaría o la dependencia competente, a petición del interesado podrá autorizar se efectúe otra verificación en los términos de esta Ley.

Esta verificación podrá efectuarse, a juicio de la dependencia, en el mismo laboratorio o en otro acreditado, en cuyo caso serán a cargo del productor, fabricante, importador, comercializador o del prestador de servicios los gastos que se originen. Si en esta segunda verificación se demostrase que el producto o el servicio cumple satisfactoriamente las especificaciones, se tendrá por desvirtuado el primer resultado. Si no las cumple, por confirmado.

**ARTÍCULO 94.** Para los efectos de esta Ley se entiende por visita de verificación:

- I. La que se practique en los lugares en que se realice el proceso, alguna fase del mismo, de productos, instrumentos para medir o servicios, con objeto de constatar ocularmente que se cumple con lo dispuesto en esta Ley y demás disposiciones derivadas de ella, así como comprobar lo concerniente a la utilización de los instrumentos para medir; y/o
- II. La que se efectúe con objeto de comprobar el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas, el contenido neto y, en su caso, la masa drenada; determinar los ingredientes que constituyan o integren los productos, si existe obligación de indicar su composición así como la veracidad de la información comercial o la ley de los metales preciosos. Dicha verificación se efectuará, tratándose de lotes de productos, sobre el número de unidades representativas conforme a las normas oficiales mexicanas y en los laboratorios del fabricante si cuenta con el equipo que se requiere, o en los acreditados por la Secretaría.

Cuando exista concurrencia de competencia, la verificación la realizarán las dependencias competentes de acuerdo a las bases de coordinación que se celebren.

**ARTÍCULO 95.** Las visitas de verificación que lleven a cabo la Secretaría y las dependencias competentes, se practicarán en días y horas hábiles y únicamente por personal autorizado, previa identificación vigente y exhibición del oficio de comisión respectivo.

La autoridad podrá autorizar se practiquen también en días y horas inhábiles a fin de evitar la comisión de infracciones, en cuyo caso el oficio de comisión expresará tal autorización.

**ARTÍCULO 96.** Los productores, propietarios, sus subordinados o encargados de establecimientos industriales o comerciales en que se realice el proceso o alguna fase del mismo, de productos, instrumentos para medir o se presten servicios sujetos al cumplimiento de la presente Ley, tendrán la obligación de permitir el acceso y proporcionar las facilidades necesarias al personal comisionado por la Secretaría o por las dependencias competentes para practicar las visitas, siempre que se cumplan los requisitos establecidos en el presente título.

Cuando los productores, propietarios o encargados decidan voluntariamente utilizar los servicios de verificación prestados por las personas físicas o morales a que se refiere el artículo 84, deberán presentar a la dependencia competente los informes a que se refieren los artículos 104 y 105 de esta Ley.

**ARTÍCULO 97.** De toda visita de verificación se levantará acta circunstanciada, en presencia de dos testigos propuestos por la persona con quien se hubiere entendido la diligencia o por quien la practique si aquélla se hubiese negado a proponerlos.

De toda acta se dejará copia a la persona con quien se entendió la diligencia, aunque se hubiese negado a firmar, lo que no afectará la validez de la diligencia ni del documento de que se trate.

**ARTÍCULO 98.** En las actas se hará constar:

- I. Nombre, denominación o razón social del establecimiento;
- II. Hora, día, mes y año en que inicie y en que concluya la diligencia;
- III. Calle, número, población o colonia, municipio o delegación, código postal y entidad federativa en que se encuentre ubicado el lugar en que se practique la visita;
- IV. Número y fecha del oficio de comisión que la motivó;
- V. Nombre y cargo de la persona con quien se entendió la diligencia;
- VI. Nombre y domicilio de las personas que fungieron como testigos;
- VII. Datos relativos a la actuación;
- VIII. Declaración del visitado, si quiere hacerla; y
- IX. Nombre y firma de quienes intervinieron en la diligencia, incluyendo los de quien la llevó a cabo.



**ARTÍCULO 99.** Los visitados a quienes se haya levantado acta de verificación, podrán formular observaciones en el acto de la diligencia y ofrecer pruebas en relación con los hechos contenidos en ella o, por escrito, hacer uso de tal derecho dentro del término de 5 días hábiles siguientes a la fecha en que se haya levantado.

**ARTÍCULO 100.** La separación o recolección de muestras de productos, sólo procederá cuando deba realizarse la verificación a que se refiere la fracción II del artículo 94, así como cuando lo solicite el visitado.

**ARTÍCULO 101.** La recolección de muestras se efectuará con sujeción a las siguientes formalidades;

- I. Sólo las personas expresamente autorizadas por la Secretaría o por la dependencia competente podrán recabarlas.

También podrán recabar dichas muestras, los organismos de certificación y las unidades de verificación únicamente cuando lo soliciten los propietarios o encargados de establecimientos;

- II. Las muestras se recabarán en la cantidad estrictamente necesaria, la que se constituirá por:

- a) El número de piezas que en relación con los lotes por examinar, integren el lote de muestra conforme a las normas oficiales mexicanas; y
- b) Una o varias fracciones cuando se trate de productos que se exhiban a granel, en piezas, rollos, tiras o cualquiera otra forma y se vendan usualmente en fracciones;

- III. Las muestras se seleccionarán al azar y precisamente por las personas autorizadas;

- IV. A fin de impedir su sustitución, las muestras se guardarán o asegurarán, en forma tal que no sea posible su violación sin dejar huella; y

- V. En todo caso se otorgará, respecto a las muestras recabadas, el recibo correspondiente.

**ARTÍCULO 102.** Las muestras se recabarán por duplicado, quedando un tanto de ellas en resguardo del establecimiento visitado. Sobre el otro tanto se hará la primera verificación, si de ésta se desprende que no existe contravención alguna a la norma de que se trate, o a lo dispuesto en esta Ley o demás disposiciones derivadas de ella quedará sin efecto la otra muestra y a disposición de quien se haya obtenido.

Si de la primera verificación se aprecia incumplimiento a la norma oficial mexicana respectiva o en el contenido neto o masa drenada, se repetirá la

verificación si así se solicita, sobre el otro tanto de las muestras en laboratorio acreditado diverso y previa notificación al solicitante.

Si del resultado de la segunda verificación se infiere que las muestras se encuentran en el caso del primer párrafo de este artículo, se tendrá por aprobado todo el lote. Si se confirmase la deficiencia encontrada en la primera se procederá en los términos del artículo 57.

Se deberá solicitar la segunda verificación dentro del término de cinco días hábiles siguientes a aquel en que se tuvo conocimiento del resultado de la primera verificación. Si no se solicitare quedará firme el resultado de la primera verificación.

**ARTÍCULO 103.** Las muestras podrán recabarse de los establecimientos en que se realice el proceso o alguna fase del mismo, invariablemente previa orden por escrito.

Si las muestras se recabasen de comerciantes se notificará a los fabricantes, productores o importadores para que, si lo desean, participen en las pruebas que se efectúen.

**ARTÍCULO 104.** De las comprobaciones que se efectúen como resultado de las visitas de verificación se expedirá un acta en la que se hará constar:

- I. Si el sobre, envase o empaque que contenían las muestras presenta o no huellas de haber sido violado, o en su caso, si el producto individualizado no fue sustituido,
- II. La cantidad de muestras en que se efectuó la verificación;
- III. El método o procedimiento empleado, el cual deberá basarse en una norma;
- IV. El resultado de la verificación; y
- V. Los demás datos que se requiera agregar.

Las actas deberán ser firmadas por las personas que realizaron o participaron en las pruebas, y por el responsable de laboratorio, si se trata de laboratorios acreditados. En los demás casos por el representante de la Secretaría o dependencia competente que hubiese intervenido y el del productor, fabricante, distribuidor, comerciante o importador, que hayan participado y quisieran hacerlo. Su negativa a firmar no afectará la validez del acta.

**ARTÍCULO 105.** Los informes a que se refiere el artículo precedente, cualquiera que sea su resultado, se notificarán dentro de un plazo de 5 días hábiles siguientes a la fecha de recepción del informe de laboratorio, a los fabricantes, o a los distribuidores, comerciantes o importadores si a éstos les fueron recabadas las muestras. Tratándose de las personas a que se refiere el artículo 84, los informes deberán notificarse dentro de un plazo de 2 días hábiles siguiente a la recepción del informe de laboratorio, a la dependencia competente.

Si el resultado fuese en sentido desfavorable al productor, fabricante, importador, distribuidor o comerciante, la notificación se efectuará en forma tal que conste la fecha de su recepción.

**ARTÍCULO 106.** Al notificarse el resultado de la verificación, las muestras quedarán a disposición de la persona de quien se recabaron, o en su caso el material sobrante si fue necesaria su destrucción, lo que se hará saber a dicha persona para que lo recoja dentro de los tres días hábiles siguientes si se trata de artículos perecederos o de fácil descomposición.

Los fabricantes, productores e importadores tendrán obligación de reponer a los distribuidores o comerciantes las muestras recogidas de ellos que resultasen destruidas.

Cuando se trate de productos no perecederos, si en el lapso de un mes contado a partir de la fecha de notificación del resultado, no son recogidas las muestras o el material sobrante, se les dará el destino que estime conveniente quien las haya recabado.

**ARTÍCULO 107.** Si de la verificación se desprende determinada deficiencia del producto, se procederá de la siguiente:

- I. Si se trata de incumplimiento de especificaciones fijadas en normas oficiales mexicanas se estará a lo dispuesto en el artículo 57;
- II. Si se trata de deficiencias en el contenido neto o la masa drenada, se estará a lo dispuesto en el artículo 23;
- III. Si los materiales, elementos, sustancias o ingredientes que constituyan o integren el producto no corresponden a la indicación que ostenten o el porcentaje de ellos sea inexacto en perjuicio del consumidor, se prohibirá la venta de todo el lote o, en su caso, de toda la producción similar, hasta en tanto se corrijan dichas indicaciones. En caso de no ser esto posible, se permitirá su venta al precio correspondiente a su verdadera composición, siempre y cuando ello no implique riesgos para la salud humana, animal o vegetal o a los ecosistemas; y
- IV. Si se trata de la prestación de un servicio en perjuicio del consumidor, se suspenderá su prestación hasta en tanto se cumpla con las especificaciones correspondientes.

Las resoluciones que se dicten con fundamento en este artículo serán sin perjuicio de las sanciones que procedan.

**ARTÍCULO 108.** Siempre que se trate de la verificación de especificaciones contenidas en normas oficiales mexicanas, del contenido neto, masa drenada, composición de los productos o el de metales preciosos, en tanto se realiza la verificación respectiva el lote de donde se obtuvieron las muestras, sólo podrá comercializarse bajo la estricta responsabilidad del propietario del establecimiento o del órgano de administración o administrador único de la empresa.

Solamente en los casos, en que exista razón fundada para suponer que la comercialización del producto puede dañar gravemente la salud de las personas, de los animales o de las plantas, o irreversiblemente el medio ambiente o los ecosistemas, el lote de donde se obtuvieron las muestras no podrá comercializarse y quedará en poder y bajo la responsabilidad del propietario del establecimiento o del consejo de administración o administrador único de la empresa de donde se recabaron. De no encontrarse motivo de infracción se permitirá de inmediato la comercialización del lote.

De comprobarse incumplimiento a las especificaciones o a la indicación del contenido neto, masa drenada, composición del producto o ley de metal precioso, se procederá como se indica en el artículo anterior.

Cuando el procedimiento de verificación y muestreo se refiera a productos, actividades o servicios regulados por la Ley General de Salud, se estará a lo dispuesto en dicho ordenamiento legal.

**ARTÍCULO 109.** Cuando sean inexactos los datos o información contenidos en las etiquetas, envases o empaques de los productos, cualesquiera que éstos sean, así como la publicidad que de ellos se haga, la Secretaría o las dependencias competentes de forma coordinada podrán ordenar se modifique, concediendo el término estrictamente necesario para ello, sin perjuicio de imponer la sanción que proceda.

## TÍTULO SEXTO

### DE LOS INCENTIVOS, SANCIONES Y RECURSOS

#### CAPÍTULO I

##### Del Premio Nacional de Calidad

**ARTÍCULO 110.** Se instituye el Premio Nacional de Calidad con el objeto de reconocer y premiar anualmente el esfuerzo de los fabricantes y de los prestadores de servicios nacionales, que mejoren constantemente la calidad de procesos industriales, productos y servicios, procurando la calidad total.

**ARTÍCULO 111.** El procedimiento para la selección de los acreedores al premio mencionado, la forma de usarlo y las demás prevenciones que sean necesarias, las establecerá el reglamento de esta Ley.

#### CAPÍTULO II

##### De las Sanciones

**ARTÍCULO 112.** El incumplimiento a lo dispuesto en esta Ley y demás disposiciones derivadas de ella, será sancionado administrativamente por las dependencias conforme a sus atribuciones y en base a las actas de verificación y dictámenes de laboratorios acreditados que les sean presentados a la dependencia encargada de vigilar el cumplimiento de la norma conforme lo establecido

en esta Ley. Sin perjuicio de las sanciones establecidas en otros ordenamientos legales, las sanciones aplicables serán las siguientes:

- I. Multa hasta por el importe de 20 000 veces el salario mínimo general diario vigente en el Distrito Federal, en el momento que se cometa la infracción. Cuando persista la infracción podrán imponerse multas por cada día que transcurra;
- II. Clausura temporal o definitiva, que podrá ser parcial o total;
- III. Arresto hasta por treinta y seis horas; y
- IV. Suspensión y revocación del acreditamiento.

**ARTÍCULO 113.** En todos los casos de reincidencia se duplicará la multa impuesta por la infracción anterior, sin que en cada caso su monto total exceda del doble del máximo fijado en el artículo anterior.

Se entiende por reincidencia, para los efectos de esta Ley y demás disposiciones derivadas de ella, cada una de las subsecuentes infracciones a un mismo precepto, cometidas dentro de los dos años siguientes a la fecha del acta en que se hizo constar la infracción precedente, siempre que ésta no hubiese sido desvirtuada.

**ARTÍCULO 114.** Las sanciones serán impuestas con base en las actas levantadas, en los resultados de las comprobaciones o verificaciones, en los datos que ostenten los productos, sus etiquetas, envases, o empaques en la omisión de los que deberían ostentar, en base a los documentos emitidos por las personas a que se refiere el artículo 84 de la Ley o con base en cualquier otro elemento o circunstancia de la que se infiera en forma fehaciente infracción a esta Ley o demás disposiciones derivadas de ella. En todo caso las resoluciones en materia de sanciones deberán ser fundadas y motivadas y tomando en consideración los criterios establecidos en el artículo siguiente.

**ARTÍCULO 115.** Para la determinación de las sanciones deberá tenerse en cuenta:

- I. El carácter intencional o no de la acción u omisión constitutiva de la infracción;
- II. La gravedad que la infracción implique en relación con el comercio de productos o la prestación de servicios, así como el perjuicio ocasionado a los consumidores; y
- III. Las condiciones económicas del infractor.

**ARTÍCULO 116.** Cuando en una misma acta se hagan constar diversas infracciones, las multas se determinarán separadamente y, por la suma resultante de todas ellas, se expedirá la resolución respectiva.



También cuando en una misma acta se comprendan dos o más infractores, a cada uno de ellos se impondrá la sanción que preceda. Si el infractor no intervino en la diligencia se le dará vista del acta por el término de diez días hábiles, transcurrido el cual, si no desvirtúa la infracción, se le impondrá la sanción correspondiente.

Cuando el motivo de una infracción sea el uso de varios instrumentos para medir, la multa se computará en relación con cada uno de ellos y si hay varias prevenciones infringidas también se determinarán por separado.

**ARTÍCULO 117.** Las sanciones que procedan de conformidad con esta Ley y demás disposiciones derivadas de ella se impondrá sin perjuicio de las penas que correspondan a los delitos en que incurran los infractores.

**ARTÍCULO 118.** La Secretaría, de oficio o a petición de las dependencias competentes, previo cumplimiento de la garantía de audiencia, podrá suspender el acreditamiento de los organismos nacionales de normalización, organismos de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración y unidades de verificación cuando:

- I. No proporcionen a la Secretaría o a las dependencias competentes en forma oportuna y completa los informes que les sean requeridos respecto a su funcionamiento y operación.
- II. Se impidan u obstaculicen las funciones de verificación y vigilancia de la Secretaría o de las dependencias competentes; y
- III. Se disminuyan los recursos o la capacidad necesaria para emitir los dictámenes técnicos o las certificaciones en áreas determinadas, caso en el cual la suspensión se concentrará en el área respectiva.

En el caso de los organismos de certificación, además de lo dispuesto en las fracciones anteriores, procederá la suspensión, cuando se deje de observar lo dispuesto por los artículos 79 y 80.

Tratándose de los organismos nacionales de normalización, procederá la suspensión cuando se incurra en el supuesto de las fracciones I y II de este artículo o se deje de cumplir con algunos de los requisitos u obligaciones a que se refieren los artículos 65 y 66.

Para los laboratorios de calibración, además de lo dispuesto en las fracciones anteriores, procederá la suspensión cuando se compruebe que se ha degradado el nivel de exactitud con que fue autorizado o no se cumpla con las disposiciones que rijan el funcionamiento del Sistema Nacional de Calibración.

La suspensión durará en tanto no se cumpla con los requisitos u obligaciones respectivas, pudiendo concretarse ésta, sólo al área de incumplimiento cuando sea posible.

**ARTÍCULO 119.** La Secretaría, de oficio a petición de las dependencias competentes o de la Comisión Nacional de Normalización, previo cumplimiento de la garantía de audiencia, podrá revocar el acreditamiento de los organismos



de certificación, laboratorios de prueba y de calibración y unidades de verificación, cuando:

- I. Emitan certificados o dictámenes falseados;
- II. Nieguen reiteradamente o injustificadamente a proporcionar el servicio que se le solicite;
- III. Tratándose de la suspensión fundada en las fracciones I y II del artículo precedente, reincidan en la misma infracción, así como cuando la disminución de recursos o de capacidad para emitir certificados o dictámenes se prolongue por más de tres meses consecutivos; o
- IV. Renuncien expresamente al acreditamiento concedido para operar.

Cuando se trate de unidades de verificación, además de lo dispuesto en las fracciones anteriores, procederá la revocación, cuando hagan mal uso de su contraseña o la del organismo nacional de certificación que supervise sus actividades.

La revocación del acreditamiento conllevará la prohibición de ejercer las actividades que se hubieren autorizado y de hacer cualquier alusión al acreditamiento, así como la de utilizar cualquier tipo de información o símbolo pertinente al acreditamiento.

**ARTÍCULO 120.** La Secretaría, de oficio, o a petición de las dependencias competentes, o de la Comisión Nacional de Normalización, previo cumplimiento de la garantía de audiencia podrá revocar el acreditamiento de los organismos nacionales de normalización cuando:

- I. Se incurra en el supuesto de la fracción I del artículo 118 o de la fracción III del artículo anterior;
- II. Se expidan normas mexicanas sin que haya existido consenso o que sea evidente que se pretendió favorecer los intereses de un sector; y
- III. Tratándose de suspensión fundada en el párrafo tercero del artículo 118, se reincida en la misma infracción, así como cuando la disminución de recursos o de capacidad para expedir normas se prolongue por más de tres meses consecutivos.

### CAPÍTULO III

#### Del Recurso Administrativo

**ARTÍCULO 121.** Las personas afectadas por las resoluciones dictadas con fundamento en esta Ley y demás disposiciones derivadas de ellas, podrán recurrirlas administrativamente por escrito, que presentarán ante la autoridad

que haya pronunciado la resolución, dentro del término de 15 días hábiles siguientes a su notificación.

**ARTÍCULO 122.** El recurrente deberá acompañar al recurso lo siguiente:

- I. Los documentos que acrediten legalmente su personalidad; exhibiendo la documentación respectiva, cuando el recurso no se interponga a nombre propio;
- II. Copia del documento en que conste el acto impugnado; y
- III. Las pruebas que ofrezca y que tengan relación directa con los hechos constitutivos de la infracción.

**ARTÍCULO 123.** Excepto la confesional en el recurso administrativo podrán ofrecerse toda clase de pruebas, siempre que tengan relación con los hechos que constituyan la motivación de la resolución recurrida. Al interponerse el recurso deberán ofrecerse las pruebas correspondientes y acompañarse las documentales.

**ARTÍCULO 124.** Si se ofreciesen pruebas que ameritasen ulterior desahogo, se concederá al interesado un plazo, no menor de 8 ni mayor de 30 días hábiles, para tal efecto.

Quedará a cargo del recurrente la presentación de testigos, dictámenes y documentos. De no presentarlos dentro del término concedido, la prueba correspondiente no se tendrá en cuenta al emitir la resolución respectiva.

En lo no previsto en este capítulo será aplicable supletoriamente, en relación con el ofrecimiento, recepción y desahogo de pruebas, el Código Federal de Procedimiento Civiles.

**ARTÍCULO 125.** El recurso se tendrá por no interpuesto cuando:

- I. Se presenten fuera del término a que refiere el artículo 121;
- II. No se haya acompañado la documentación que acredite la personalidad jurídica del recurrente; y
- III. No aparezca suscrito por quien deba hacerlo, a menos que se firme antes del vencimiento del término para interponerlo.

**ARTÍCULO 126.** Las resoluciones no recurridas dentro del término establecido en el artículo 121, así como las dictadas al resolver los recursos o tenerlos por no interpuestos, tendrán administrativamente el carácter de definitivas.

**ARTÍCULO 127.** La interposición del recurso suspenderá la ejecución de la resolución impugnada por cuanto al pago de multas, siempre que se garantice su importe, en los términos del Reglamento de esta Ley.

Respecto de resoluciones que no impliquen pago de multas, la suspensión sólo se otorgará si ocurren los siguientes requisitos:



- I. Que la solicite el recurrente;
- II. Que el recurso sea procedente, atento a lo dispuesto en el Artículo 125;
- III. Que no se permita la consumación o continuación de actos y omisiones que impliquen inobservancia o contravención a lo dispuesto en esta Ley;
- IV. Que la ejecución de la resolución recurrida produzca daños o perjuicios de difícil reparación en contra del recurrente; y
- V. Que no se ocasionen daños o perjuicios a terceros, a menos que se garanticen éstos para el caso de no obtener resolución favorable.

## TRANSITORIOS

**PRIMERO.** La presente Ley entrará en vigor a los 15 días naturales siguientes a su publicación en el *Diario Oficial de la Federación*.

**SEGUNDO.** Se abroga la Ley sobre Metrología y Normalización, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* de 26 de enero de 1988.

**TERCERO.** La vigencia de las normas o especificaciones técnicas, criterios, reglas, instructivos, circulares, lineamientos y demás disposiciones de naturaleza análoga de carácter obligatorio, en las materias a que se refiere esta Ley, que hayan sido expedidas por las dependencias de la administración pública federal con anterioridad a la entrada en vigor de la misma, no podrá exceder de 15 meses a partir de la entrada en vigor de esta Ley.

**CUARTO.** Para los efectos del artículo 91, durante los 365 días naturales posteriores, a la fecha de publicación de esta Ley en el *Diario Oficial de la Federación*, también podrán hacerse las verificaciones en los laboratorios de la Secretaría o de las dependencias competentes. Transcurrido este plazo, sólo los laboratorios acreditados públicos o privados podrán servir para este propósito.

**QUINTO.** Las normas oficiales mexicanas de carácter voluntario que hayan sido expedidas con anticipación a la entrada en vigor de esta Ley quedarán vigentes. Dentro de los 180 días naturales siguientes a la entrada en vigor de la Ley, la Secretaría mediante acuerdo deberá modificar su denominación por el de normas mexicanas. La Secretaría podrá expedir normas mexicanas en las áreas no cubiertas por organismos nacionales de normalización. Las normas mexicanas que expida la Secretaría en los términos del presente artículo, deberán distinguirse de las expedidas por los organismos nacionales de normalización.

México, D.F., a 18 de junio de 1992.—*Sen. Manuel Aguilera Gómez*, Presidente.—*Dip. Jorge Zermeno Infante*, Presidente.—*Sen. Antonio Melgar Aranda*, Secretario.—*Dip. Felipe Muñoz Kapamas*, Secretario.—Rúbricas.”.

En cumplimiento de lo dispuesto por la fracción I del Artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y para su debida publi-

cación y observancia, expido el presente Decreto en la residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los treinta días del mes de junio de mil novecientos noventa y dos.—*Carlos Salinas de Gortari*.—Rúbrica.—El Secretario de Gobernación, *Fernando Gutiérrez Barrios*.—Rúbrica.



---

# EJERCICIOS

En este capítulo se han incluido preguntas y ejercicios de los capítulos anteriores. En el caso de las preguntas de opción múltiple, sólo una de ellas es correcta; en los casos en los que dos o más opciones sean aceptables, se debe elegir como correcta la opción que sea mejor o más completa.

En varios casos, las preguntas encuentran su respuesta en el material del texto; sin embargo, en otros, se considera que sólo una persona con experiencia en el área les puede contestar correctamente, razón por la cual, si el libro se utiliza como texto, el instructor puede proporcionar durante su exposición información que facilite la respuesta a las preguntas.

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 2

## Normas y normalización

1. ¿Cuáles son los principios científicos de la normalización?
  - a) Que sea internacional, obligatoria, económica
  - b) Homogeneidad, equilibrio, cooperación
  - c) Metrológico, físico, químico
  - d) Unificación, método, homologación
2. ¿Cuáles son los aspectos fundamentales que debe contener una norma?
  - a) Ámbito, nivel, dominio
  - b) Funciones, método, producto
  - c) Simplificación, unificación, especificación
  - d) Terminología, métodos, comprobación
3. Para llevar a cabo cualquier tipo de normalización es requisito indispensable definir:
  - a) Dominio, nivel, aspecto
  - b) Dominio, economía, homogeneidad
  - c) Equilibrio, cooperación, simplificación
  - d) Alcance, jerarquía, características
4. Para que una especificación sea completa debe:
  - a) Estar adaptada al problema
  - b) Indicar el método de comprobación
  - c) Indicar claramente las características requeridas
  - d) Ser concreta
5. ¿En metrología que se entiende por norma?
  - a) Una tolerancia
  - b) Una referencia para juzgar un producto o función
  - c) Una disposición obligatoria
  - d) Un método de medición
6. Una especificación es:
  - a) Algo específico
  - b) Un requerimiento del cliente
  - c) Una tolerancia
  - d) Un requisito que debe cumplirse



7. ¿Cuál de las siguientes opciones presenta el orden correcto según el nivel de normalización?
- a) Empresa, internacional, asociación, nacional, regional
  - b) Internacional, nacional, regional, asociación, empresa
  - c) Internacional, regional, nacional, asociación, empresa
  - d) Empresa, regional, asociación, nacional, internacional
8. Son ejemplos de normas de asociación:
- a) EN, COPANT-AFNOR-IEC
  - b) IEEE, COPANT-IEC-ISO
  - c) MIL STD, FED. SPEC, ANSI, DIN
  - d) BS, JIS, NF, CS
  - e) API, ASME, ASQC, ASTM
9. Son ejemplos de normas nacionales:
- a) CEN, ETSI, EN, AFNOR
  - b) ANSI, BS, JIS, CS
  - c) API, ASME, ASQC, ASTM
  - d) IEEE, COPANT, IEC-ISO
  - e) MIL STD, FED. SPEC, ANSI, DIN
10. ¿Cuáles de los siguientes aspectos son considerados en las normas ISO 9000?
- a) Capacitación, equipo de inspección, medición y pruebas, compras
  - b) Control de procesos, trazabilidad del producto, técnicas administrativas, ventas
  - c) Contratos, sistema de calidad, inspección y pruebas, acciones correctivas
  - d) Todos los anteriores
  - e) Sólo a y c
11. En la actividad de normalización debe existir equilibrio entre:
- a) Las diferentes normas
  - b) Compradores o usuarios, el interés general, los fabricantes o productores
  - c) Las diferentes partes de una norma
  - d) Los aspectos teóricos y prácticos
12. Las normas se actualizan
- a) Anualmente
  - b) Periódicamente
  - c) Cuando hay necesidad
  - d) Automáticamente
  - e) Por acuerdo internacional
13. Las normas se pueden conseguir
- a) En librerías
  - b) En bibliotecas
  - c) A través de organismos especializados o emisores
  - d) A través de organismos oficiales
  - e) En bancos de datos



14. La elaboración de normas generalmente se realiza mediante la actividad de:
  - a) Gente especialista
  - b) Comités de normalización
  - c) Organizaciones industriales
  - d) Comisiones de normalización
  - e) Organizaciones civiles
  
15. La elaboración de una norma generalmente puede durar:
  - a) Tres días
  - b) Una semana
  - c) Un mes
  - d) Un año o más
  - e) Tres meses
  
16. Las normas ISO 9000 son:
  - a) 9000
  - b) De sistemas de calidad
  - c) Para el TLC
  - d) No se sabe
  - e) Las únicas normas ISO existentes

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 3

## Metrología dimensional

1. Indicar el símbolo utilizado para cada una de las siguientes características geométricas:

Paralelismo _____	Rectitud _____
Perpendicularidad _____	Planitud _____
Redondez _____	Cilindricidad _____
Perfil de una línea _____	Perfil de una superficie _____
Cabeceo circular _____	Cabeceo total _____
Angularidad _____	Posición _____
Concentricidad _____	Simetría _____

2. Son instrumentos de medición directa:
- Comparador óptico, escuadra, regla de senos
  - Nivel, patrón angular, bloques patrón
  - Goniómetro, micrómetro, calibrador vernier
  - Transportador, regla graduada, falsa escuadra
3. Son instrumentos con dimensión fija:
- Nivel, patrón angular, bloques patrón
  - Goniómetro, micrómetro, calibrador vernier
  - Goniómetro, nivel, transportador
  - Patrón angular, escuadra, bloque patrón
4. La medición de la rugosidad:
- No incumbe a la metrología dimensional
  - Es una medición angular
  - Es una medida del acabado superficial
  - Es una medición trigonométrica
5. Frecuentemente la medición que emplea trigonometría involucra:
- Patrones angulares
  - Esferas o cilindros
  - Goniómetros
  - Las funciones secante y cosecante
- De acuerdo con ISO



6. Son tolerancias de orientación
  - a) Angularidad, cabeceo, perfil
  - b) Paralelismo, perpendicularidad, angularidad, perfil
  - c) Posición, simetría, concentricidad
  - d) Concentricidad, redondez, cilindridad
  
7. Tolerancia geométrica es el término general aplicado a la categoría de tolerancia utilizada para controlar:
  - a) Rectitud, planitud, redondez, cilindridad, perfil
  - b) Cabeceo circular, cabeceo total, simetría, posición, concentricidad
  - c) Forma, orientación, localización y cabeceo
  - d) La forma geométrica de partes
  - e) La forma y orientación de partes
  
8. ¿Cuál es la norma ANSI que trata del dimensionado y tolerado geométrico?
  - a) ANSI Y 14.5M-1994
  - b) ANSI B46.1-1985
  - c) ANSI B89.3.1-1972
  - d) ANSI Y 14.36.1978
  - e) ANSI Y 14.6-1978
  
9. El acto de medir es en realidad
  - a) Una relación
  - b) Una operación
  - c) Algo directo
  - d) Una comparación
  - e) Algo indirecto
  
10. Una máquina de medición por coordenadas:
  - a) Puede sustituir a varios instrumentos
  - b) Reduce el tiempo de medición
  - c) No requiere alinear o nivelar la pieza a medir
  - d) Todo lo anterior

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 4

## Sistemas de unidades de medida

Efectúe las conversiones siguientes:

1.	.3785" =	mm	2.	2.300" =	mm	3.	6.035" =	mm
4.	4.323" =	mm	5.	5.80" =	mm	6.	4.090" =	mm
7.	6.046" =	mm	8.	7.125" =	mm	9.	.0953" =	mm
10.	1.093" =	mm	11.	2.190" =	mm	12.	3.185" =	mm
13.	4.122" =	mm	14.	7.059" =	mm	15.	.0852" =	mm
16.	4.890" =	mm	17.	5.032" =	mm	18.	.0032" =	mm

Efectúe las conversiones siguientes:

19.	16.0	mm =	pulg
21.	26.25	mm =	pulg
23.	41.2	mm =	pulg
25.	19.1	mm =	pulg
27.	6.0	mm =	pulg
29.	1.505	mm =	pulg
31.	44.25	mm =	pulg
33.	12.485	mm =	pulg
35.	3.0	mm =	pulg

20.	13.5	mm =	pulg
22.	92	mm =	pulg
24.	13	mm =	pulg
26.	30.065	mm =	pulg
28.	9.9	mm =	pulg
30.	35.208	mm =	pulg
32.	24.354	mm =	pulg
34.	14.36	mm =	pulg
36.	99.26	mm =	pulg

Efectúe las conversiones siguientes:

37.	.0015	pulg =	μpulg
39.	1125	μpulg =	pulg
41.	.0026	pulg =	μpulg
43.	2400	μpulg =	pulg

38.	0.003	mm =	μm
40.	435	μm =	mm
42.	0.008	mm =	μm
44.	150	μm =	mm



67. La unidad del sistema inglés más comúnmente utilizada en los dibujos de ingeniería es:
- a) La yarda
  - b) La pulgada
  - c) El pie
  - d) La pulgada fraccional
  - e) La pulgada decimal
68. La unidad del SI comúnmente utilizada en los dibujos de ingeniería es:
- a) El metro
  - b) El decímetro
  - c) El centímetro
  - d) El milímetro
  - e) El micrómetro

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 5

## Errores en la medición

1. ¿Cuál es el error absoluto de las siguientes mediciones 95.04, 95.03, 95.04, 95.02, 95.03?
  - a) 0.04
  - b) 0.02
  - c) 0.03
  - d) No se sabe
2. ¿Cuál es la incertidumbre en las siguientes lecturas: 95.04, 95.03, 95.04, 95.02, 95.03?
  - a) 0.04
  - b) 0.03
  - c) 0.02
  - d) No se sabe
3. ¿Cuál será el error relativo que se tendrá al medir una pieza cuya dimensión real es 10.02 y un inspector la mide reportando 10.00?
  - a) 0.002%
  - b) -0.002%
  - c) 0.2%
  - d) -0.2%
4. ¿Cuál será el error relativo que se tendrá al medir una pieza cuya dimensión real es 1000.02 y un inspector la midió y reportó 1000.00?
  - a) 0.002%
  - b) -0.002%
  - c) -0.00002%
  - d) 0.00002%
5. La calibración puede considerarse como una operación de:
  - a) Control
  - b) Reparación
  - c) Ajuste
  - d) Comparación
6. El error instrumental puede determinarse mediante:
  - a) Reparación
  - b) Ajuste
  - c) Comparación
  - d) Calibración



7. La utilización de instrumentos descalibrados para hacer mediciones puede ocasionar:
  - a) Lecturas mayores
  - b) Lecturas menores
  - c) Lecturas inciertas
  - d) Lecturas fuera de tolerancia
  
8. Para realizar una medición en piezas de 100 mm de diámetro con una tolerancia de  $\pm 0.02$  mm usted recomendaría utilizar:
  - a) Un calibrador vernier
  - b) Un micrómetro con escala vernier
  - c) Un medidor maestro de alturas
  - d) Un microscopio
  
9. El error de paralaje puede cometerse al efectuar mediciones con:
  - a) Indicadores de carátula
  - b) Calibradores vernier
  - c) Micrómetros de interiores
  - d) Todo lo anterior
  
10. Al utilizar un calibrador para medir exteriores puede reducirse el error de Abbe:
  - a) Colocando la pieza por medir tan adentro como sea posible
  - b) Aumentando la fuerza de medición
  - c) Repitiendo varias veces la lectura
  - d) Ninguno de los anteriores
  
11. El desgaste de las puntas de medición de un calibrador puede retardarse:
  - a) Colocando la pieza por medir tan adentro como sea posible
  - b) Controlando la fuerza de medición
  - c) Repitiendo varias veces la lectura
  - d) Ninguno de los anteriores
  
12. Si una pieza de aluminio con un diámetro especificado de  $75.000^{+0.030}_0$  mm a  $15^{\circ}\text{C}$  ésta mide 75.015:
  - a) Conforma
  - b) Es inaceptable
  - c) Es aceptable
  - d) No conforma
  - e) a y c
  - f) b y c
  
13. Una pieza de acero mide 65.026 a  $32^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$  medirá:
  - a) 0.0000115
  - b) 0.00897
  - c) 65.035
  - d) 65.017

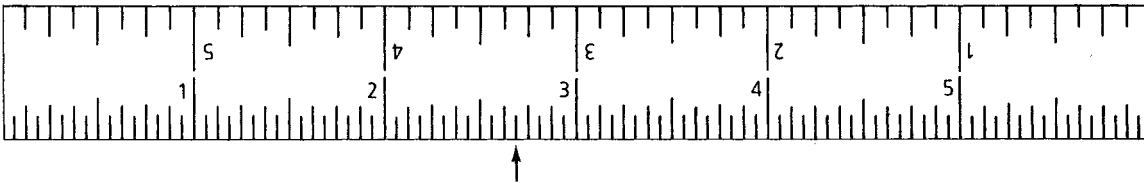


14. El error de posición generalmente está asociado con el error de:
- Paralaje
  - Distorsión
  - Coseno
  - Puntos de apoyo
  - Ninguno de los anteriores
15. Los micrómetros son instrumentos diseñados de acuerdo con la ley de Abbe.
- Cierto
  - Falso
  - Todos
  - No todos
16. La temperatura recomendada para una sala de medición es:
- $24^{\circ}\text{C} +/1^{\circ}\text{C}$
  - $23^{\circ}\text{C} +/1^{\circ}\text{C}$
  - $20^{\circ}\text{C} +/1^{\circ}\text{C}$
  - $20^{\circ}\text{C} +/ -0.1^{\circ}\text{C}$
17. A la variación de las mediciones obtenidas con un instrumento cuando lo usa varias veces el mismo operador para medir la misma característica y, en las mismas partes se le denomina:
- Reproducibilidad
  - Repetibilidad
  - Incertidumbre
  - Inexactitud
18. A la variación en el promedio de las mediciones efectuadas por operadores diferentes que usan el mismo instrumento para medir la misma característica y en el mismo grupo de piezas se le denomina:
- Reproducibilidad
  - Repetibilidad
  - Incertidumbre
  - Inexactitud
19. El control de la fuerza de medición puede mejorar la:
- Exactitud
  - Repetibilidad
  - Resolución
  - Calibración
20. El control de la fuerza de medición puede mejorar la:
- Exactitud
  - Resolución
  - Calibración
  - Reproducibilidad

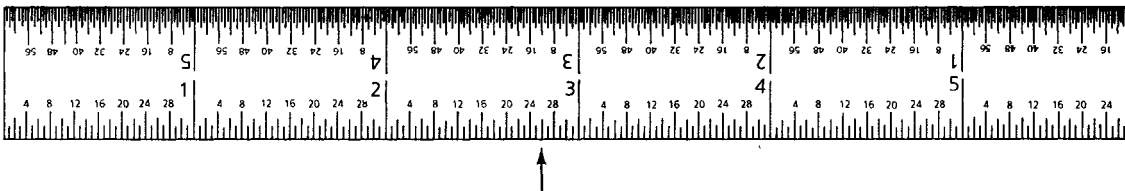
## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 6

## Medición con instrumentos básicos

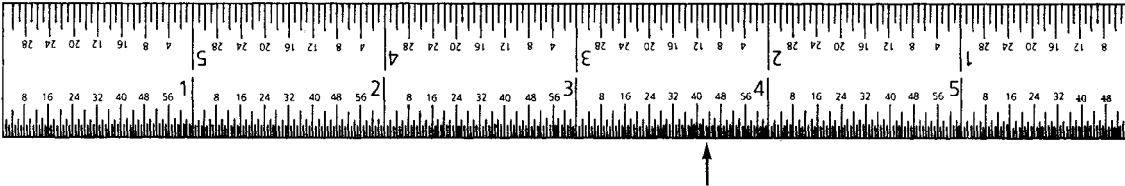
1. ¿Cuál es la lectura en la siguiente regla?



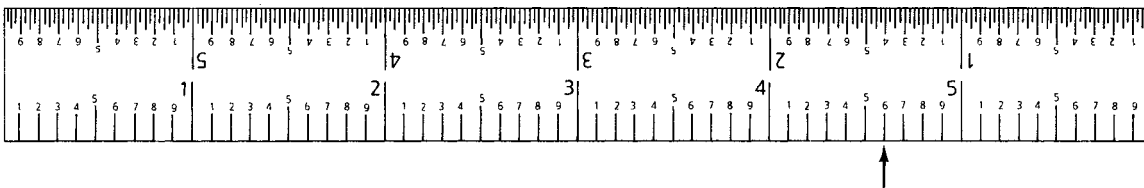
2. ¿Cuál es la lectura en la siguiente regla?



3. ¿Cuál es la lectura en la siguiente regla?

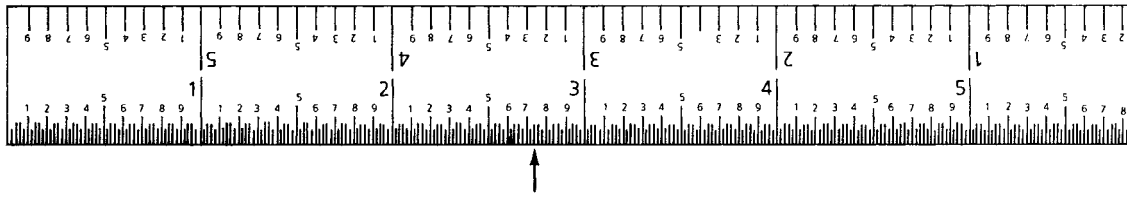


4. ¿Cuál es la lectura en la siguiente regla?

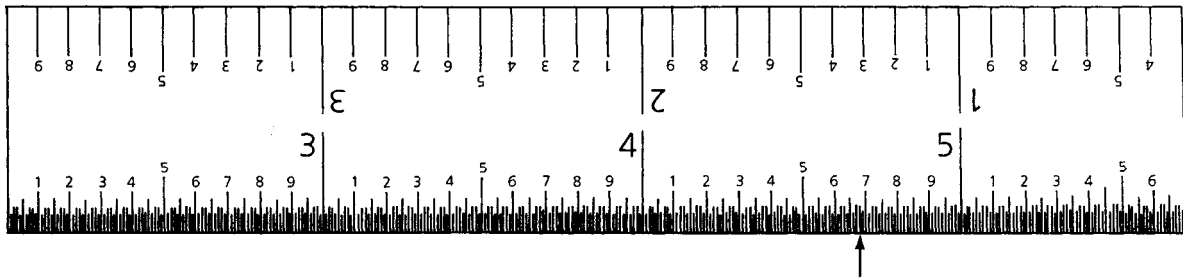




5. ¿Cuál es la lectura en la siguiente regla?



6. ¿Cuál es la lectura en la siguiente regla?



7. Las reglas métricas suelen estar graduadas en:

- a) Milímetros
- b) Milímetros y medios milímetros
- c) Metros
- d) Centímetros

8. Las reglas en sistema inglés suelen estar graduadas en:

- a)  $1/8$ ,  $1/16$ ,  $1/32$ ,  $1/64$
- b) Milésimas de pulgada
- c)  $1/10$ ,  $1/50$ ,  $1/100$
- d) Centésimas de pulgada
- e) a y c

9. El espesor mínimo de la regla generalmente es:

- a) 0.01 mm
- b) 0.02 mm
- c) 0.03 mm
- d) 0.05 mm

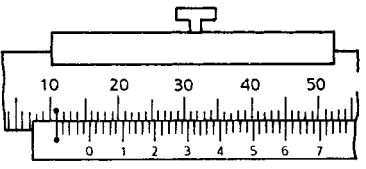
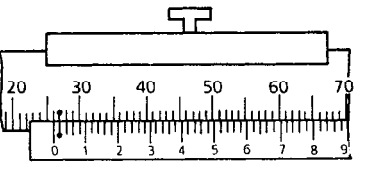
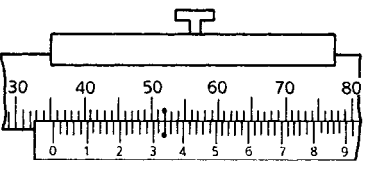
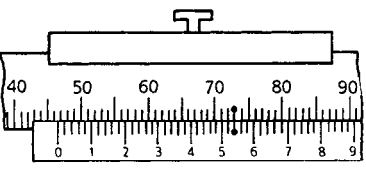
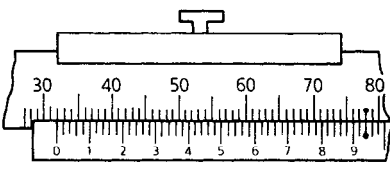
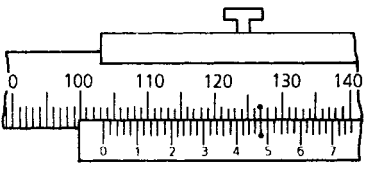
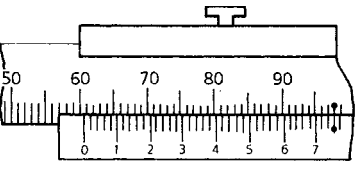
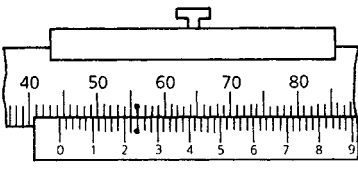
10. Los juegos de patrones de radios pueden conseguirse:
  - a) En milímetros
  - b) En pulgada decimal
  - c) En pulgada fraccional
  - d) Todo lo anterior
  - e) Solo b y c
11. Los cuentahilos sirven para:
  - a) Contar partes roscadas
  - b) Contar hilos
  - c) Determinar paso o números de hilos por pulgada
  - d) Medir completamente partes roscadas
12. Los patrones para calibres de alambre o lámina:
  - a) Son todos iguales
  - b) Existe una gran variedad
  - c) Hay uno para milímetros y otro para pulgadas
  - d) Hay uno para valores fraccionales y otro para valores decimales
  - e) Hay uno para números de calibre y otro para valores decimales
13. El uso de compases para hacer mediciones en la actualidad:
  - a) Es muy común
  - b) Es muy fácil
  - c) Es muy confiable
  - d) Requiere gran habilidad
  - e) Es sólo para hacer trazos
14. El calibre telescópico por sí mismo:
  - a) Da la medida de diámetros de agujeros o anchos de ranuras
  - b) No puede considerarse un instrumento de medición
  - c) Se pone en posición correcta para medir
  - d) Controla la fuerza de medición
15. La medición con patrones de radios y calibres angulares:
  - a) Es una medición cualitativa
  - b) Es una medición cuantitativa
  - c) Es una medición directa
  - d) Es una medición relativa
16. La utilización de una regla, un flexómetro o una cinta depende de:
  - a) El material de que están hechos
  - b) La longitud máxima que pueden medir
  - c) Las graduaciones que tiene
  - d) Su capacidad de enrollarse
17. Los compases que pueden utilizarse para hacer trazos son los:
  - a) De interiores y exteriores
  - b) Divisores
  - c) De interiores
  - d) Divisores y exteriores

18. Las lupas de comparación
- a) Sirven para observar superficies
  - b) Pueden utilizarse para hacer mediciones
  - c) Comparan el acabado de dos superficies
  - d) Utilizan un dispositivo de iluminación
  - e) Todo lo anterior

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 7

## Calibradores

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada

<p>1</p> 	<p>2</p> 
<p>3</p> 	<p>4</p> 
<p>5</p> 	<p>6</p> 
<p>7</p> 	<p>8</p> 

1	
---	--

2	
---	--

3	
---	--

4	
---	--

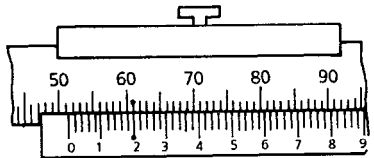
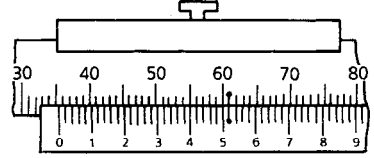
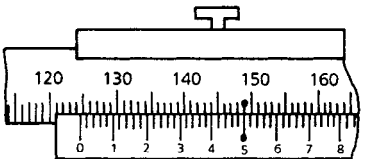
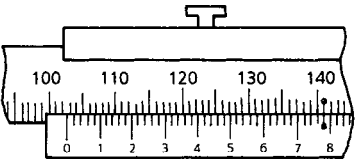
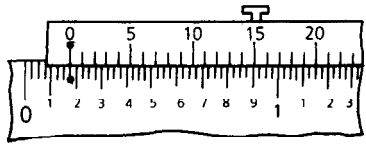
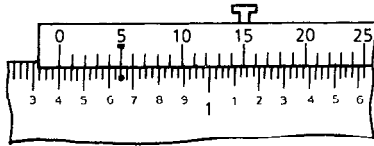
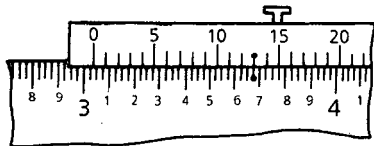
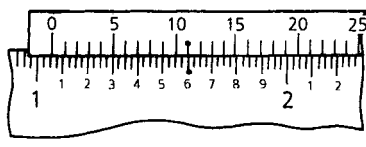
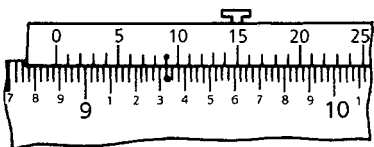
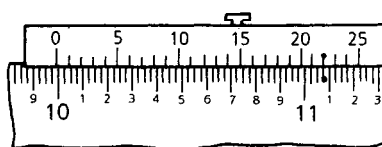
5	
---	--

6	
---	--

7	
---	--

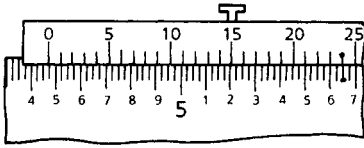
8	
---	--

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada

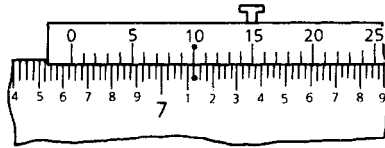
<p>9</p> 	<p>10</p> 	<p>9</p> <input type="text"/>
<p>11</p> 	<p>12</p> 	<p>10</p> <input type="text"/>
<p>13</p> 	<p>14</p> 	<p>11</p> <input type="text"/>
<p>15</p> 	<p>16</p> 	<p>12</p> <input type="text"/>
<p>17</p> 	<p>18</p> 	<p>13</p> <input type="text"/>
		<p>14</p> <input type="text"/>
		<p>15</p> <input type="text"/>
		<p>16</p> <input type="text"/>
		<p>17</p> <input type="text"/>
		<p>18</p> <input type="text"/>

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada

19



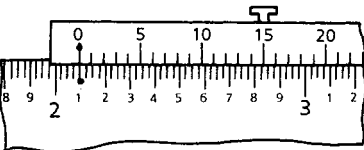
20



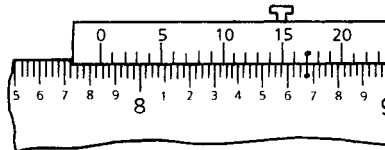
19

20

21



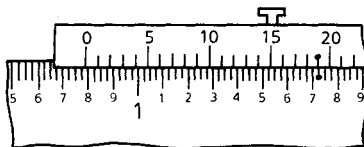
22



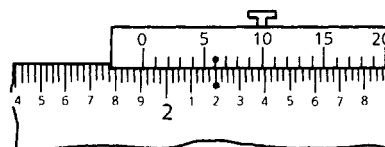
21

22

23



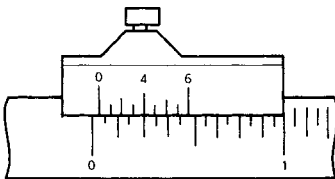
24



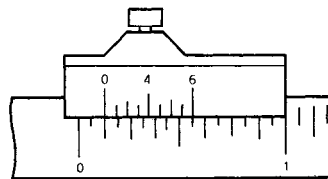
23

24

25



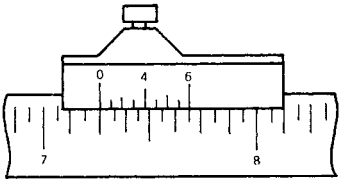
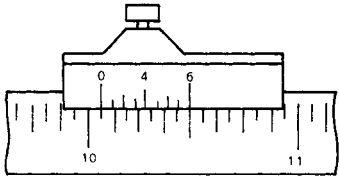
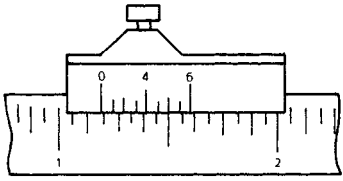
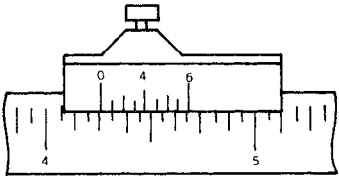
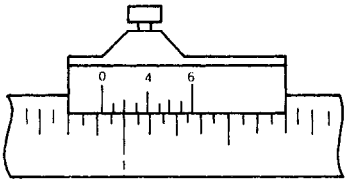
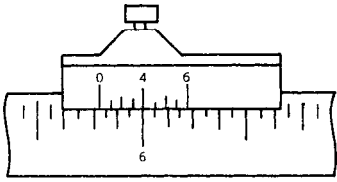
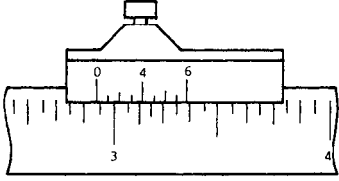
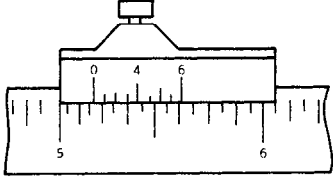
26



25

26

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada

<p>(27)</p>  <p>A vernier scale with a main scale from 7 to 8 mm. The vernier scale has markings at 0, 4, and 6. The 4th vernier mark aligns with the 7.45 mm mark on the main scale.</p>	<p>(28)</p>  <p>A vernier scale with a main scale from 10 to 11 mm. The vernier scale has markings at 0, 4, and 6. The 4th vernier mark aligns with the 10.45 mm mark on the main scale.</p>
<p>(29)</p>  <p>A vernier scale with a main scale from 1 to 2 mm. The vernier scale has markings at 0, 4, and 6. The 4th vernier mark aligns with the 1.45 mm mark on the main scale.</p>	<p>(30)</p>  <p>A vernier scale with a main scale from 4 to 5 mm. The vernier scale has markings at 0, 4, and 6. The 4th vernier mark aligns with the 4.45 mm mark on the main scale.</p>
<p>(31)</p>  <p>A vernier scale with a main scale from 1 to 2 mm. The vernier scale has markings at 0, 4, and 6. The 4th vernier mark aligns with the 1.45 mm mark on the main scale.</p>	<p>(32)</p>  <p>A vernier scale with a main scale from 6 to 7 mm. The vernier scale has markings at 0, 4, and 6. The 4th vernier mark aligns with the 6.45 mm mark on the main scale.</p>
<p>(33)</p>  <p>A vernier scale with a main scale from 3 to 4 mm. The vernier scale has markings at 0, 4, and 6. The 4th vernier mark aligns with the 3.45 mm mark on the main scale.</p>	<p>(34)</p>  <p>A vernier scale with a main scale from 5 to 6 mm. The vernier scale has markings at 0, 4, and 6. The 4th vernier mark aligns with the 5.45 mm mark on the main scale.</p>

27	
----	--

28	
----	--

29	
----	--

30	
----	--

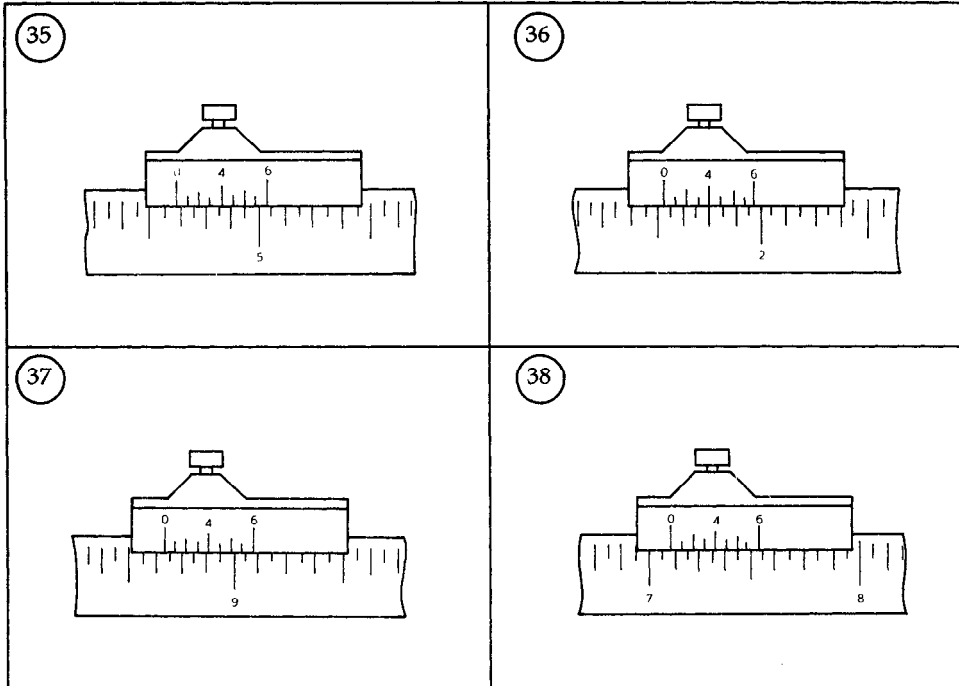
31	
----	--

32	
----	--

33	
----	--

34	
----	--

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada



35

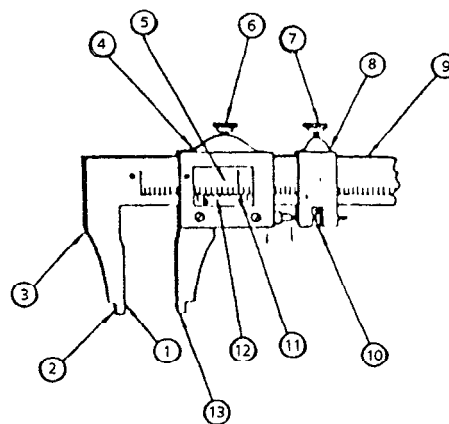
36

37

38

39. Indique los nombres de las partes indicadas en el dibujo:

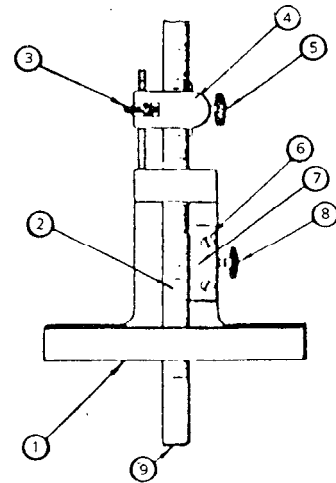
1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. \_\_\_\_\_
9. \_\_\_\_\_
10. \_\_\_\_\_
11. \_\_\_\_\_
12. \_\_\_\_\_
13. \_\_\_\_\_





40. Indicar los nombres de las partes mostradas en el dibujo:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. \_\_\_\_\_
9. \_\_\_\_\_



41. Al utilizar un calibrador vernier para medir exteriores puede reducirse el error de Abbe
- a) Aumentando la fuerza de medición
  - b) Colocando la pieza por medir tan adentro como sea posible
  - c) Repitiendo varias veces la lectura
  - d) Ninguno de los anteriores
42. El desgaste de las puntas de medición de un calibrador vernier puede retardarse
- a) Controlando la fuerza de medición
  - b) Colocando la pieza por medir tan adentro como sea posible
  - c) Repitiendo varias veces la lectura
  - d) Todo lo anterior
43. Cuando las puntas de medición de un calibrador se desgastan éste debe:
- a) Ajustarse
  - b) Repararse
  - c) Reponerse
  - d) Degradarse
44. La mejor legibilidad que puede lograrse con un calibrador vernier es:
- a) 0.01 mm
  - b) 1/128 pulg
  - c) 0.02 mm
  - d) 0.05 mm
  - e) .01 pulg

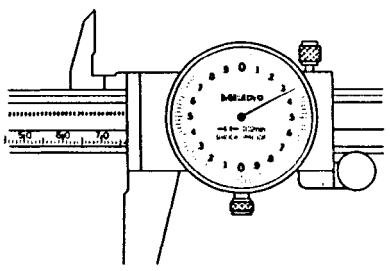
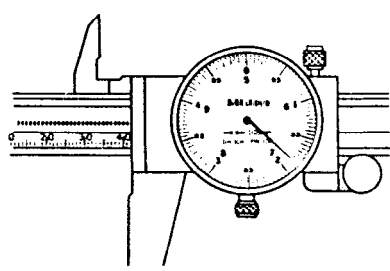
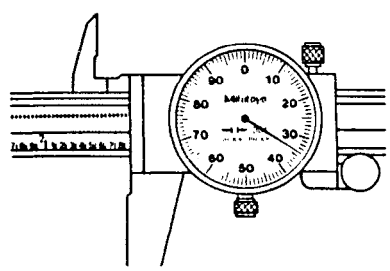
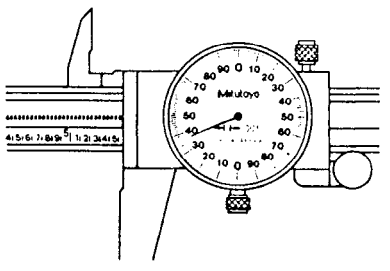
45. En un calibrador de carátula el cero puede ajustarse:
- a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe
  - d) Sólo por el fabricante
  - e) Con herramienta especial
46. La norma JIS que especifica a los calibradores vernier es:
- a) JIS B 7440
  - b) JIS B 7506
  - c) JIS B 7517
  - d) JIS B 7507
  - e) JIS B 7533
47. La medición de piezas en movimiento con un calibrador es:
- a) Difícil
  - b) Recomendable
  - c) Inexacta
  - d) Peligrosa
  - e) No recomendable
48. La medición del diámetro de agujeros menores a 10 mm con las puntas de medición de interiores de un calibrador es:
- a) Difícil
  - b) Recomendable
  - c) Inexacta
  - d) Peligrosa
  - e) Común
49. La medición de un calibrador de carátula requiere:
- a) Tomar la lectura de la carátula
  - b) Tomar la lectura de la escala
  - c) Tomar la lectura de la escala y sumarle la de la carátula
  - d) Tomar la lectura de la escala y restarle la de la carátula
  - e) Saber cuántas vueltas ha dado la aguja indicadora
50. Estando en contacto las superficies de medición de exteriores de un calibrador de carátula, la aguja indicadora debe estar, normalmente:
- a) Coincidiendo con el cero
  - b) Bien ajustada
  - c) En cualquier posición
  - d) En posición horizontal y coincidiendo con el cero
  - e) Vertical hacia arriba y coincidiendo con el cero
51. Antes de empezar a realizar mediciones con un calibrador de carátula debe comprobarse si la aguja indicadora está:
- a) En posición vertical
  - b) Coincidiendo con el cero
  - c) En posición horizontal
  - d) Bien ajustada
  - e) En buena posición

52. Para medir la diferencia de alturas entre planos es recomendable utilizar:
- a) Las superficies para medición de peldaño
  - b) La barra de profundidades
  - c) Un medidor de profundidad
  - d) Una extensión del brazo principal
53. Para leer un calibrador vernier se requiere:
- a) Una lente de aumento
  - b) Conocer el tamaño de la pieza
  - c) Saber si el operador tiene buena agudeza visual
  - d) Determinar qué graduaciones coinciden
54. La principal ventaja del calibrador electrodigital sobre el calibrador vernier y el de carátula es:
- a) Sus funciones adicionales
  - b) Su facilidad de lectura
  - c) El poder poner el cero en cualquier posición
  - d) Su facilidad de manejo
  - e) Metrológica
55. Para el control estadístico del proceso la función más útil de un calibrador electrodigital es:
- a) La del fijado del cero
  - b) La de mantener (congelar) un valor en pantalla
  - c) La de salida de datos
  - d) La conversión mm/pulg.
  - e) La posibilidad de apagarlo
56. Para evitar el error de paralaje al leer la escala de un calibrador vernier, la lectura debe:
- a) Hacerse cuidadosamente
  - b) Hacerse directamente desde el frente
  - c) Tenerse buena agudeza visual
  - d) Usarse una lente de aumento
  - e) Mantenerse el calibrador sobre la pieza medida
57. El juego entre cursor y brazo principal:
- a) Debe ser de 0.02 mm
  - b) Está normalizado
  - c) Puede ajustarse
  - d) Es inalterable
  - e) Debe ser constante
58. Si al medir exteriores con un calibrador vernier parece que dos graduaciones contiguas sobre la escala vernier coinciden con alguna de la escala principal, debe decidirse:
- a) Interpolar la lectura
  - b) Por la del lado derecho
  - c) Estimar la lectura
  - d) Por la del lado izquierdo
  - e) Sacar un promedio



59. La razón para la respuesta de la pregunta anterior es:
- a) La ley de Abbe
  - b) Mejorar la repetibilidad
  - c) La necesidad de tomar una decisión
  - d) La necesidad de establecer un criterio uniforme
  - e) La rapidez de la medición
60. Un calibrador sirve para:
- a) Calibrar instrumentos
  - b) Calibrar una gran variedad de piezas
  - c) Calibrar patrones
  - d) Calibrar y medir
  - e) Realizar una gran variedad de mediciones
61. Antes de decidir sobre la reparación del mecanismo de un calibrador de carátula debe determinarse:
- a) Si el costo no es excesivo
  - b) Si otro proveedor ofrece hacerlo con menos costo
  - c) Si el desgaste de las puntas de medición no es excesivo
  - d) Si se hace interna o externamente
  - e) Si pueden conseguirse las refacciones
62. Un calibrador no debe usarse para
- a) Trazar
  - b) Medir piezas en movimiento
  - c) Medir el diámetro de agujeros pequeños
  - d) Todo lo anterior
  - e) Sólo a y b
63. El mejor método para medir el diámetro de agujeros pequeños es utilizar:
- a) Un micrómetro
  - b) Las puntas de medición de interiores
  - c) Alambres calibrados
  - d) Un microscopio
64. Una norma estadounidense que especifica a los calibradores vernier es:
- a) ISO 3599-1976
  - b) FED SPEC. GGG-C-111c-1987
  - c) BS 887-1982
  - d) DIN 862

Anote el valor de las lecturas indicadas.

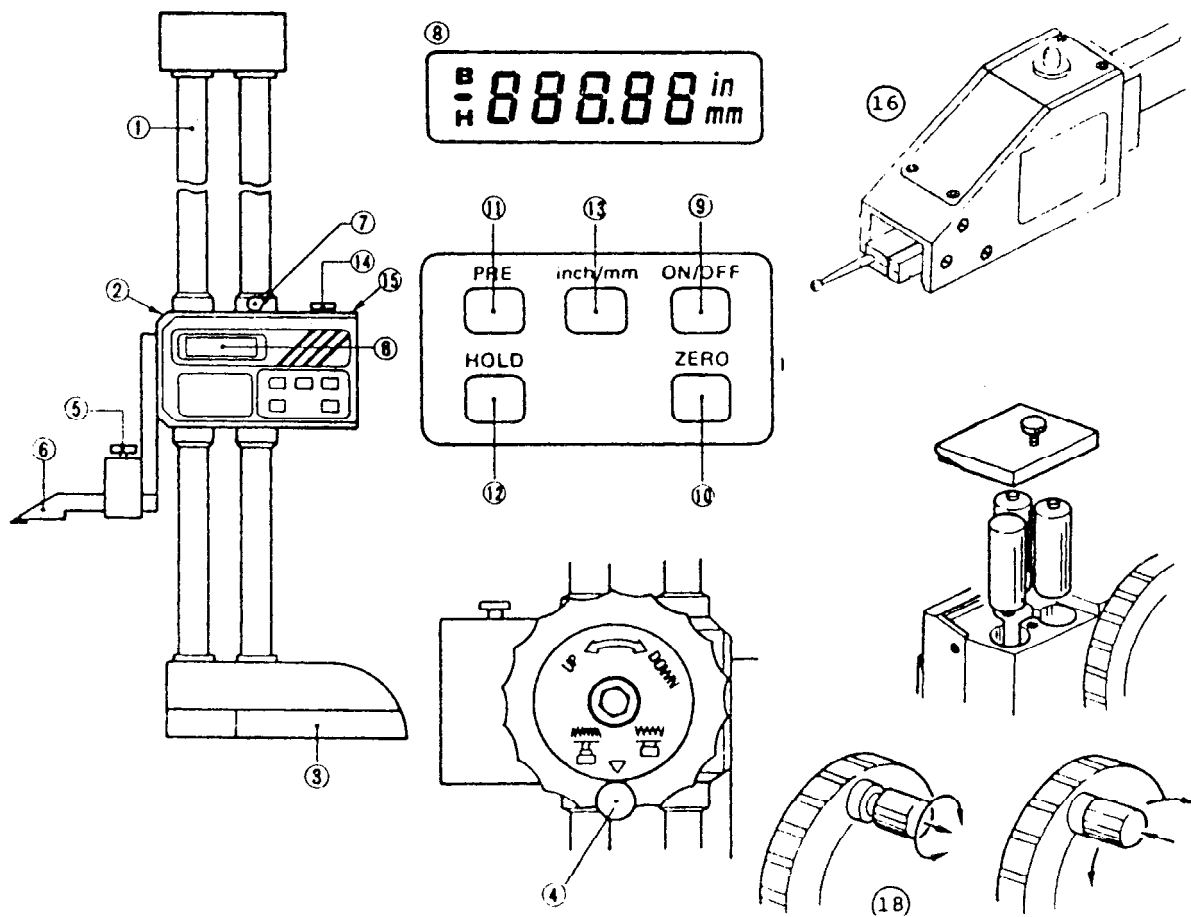
<p>65. _____ mm</p>  <p>(0.02mm)</p>	<p>66. _____ mm</p>  <p>(0.05mm)</p>
<p>67. _____ pulg</p>  <p>(.001")</p>	<p>68. _____ pulg</p>  <p>(.001")</p>

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 8

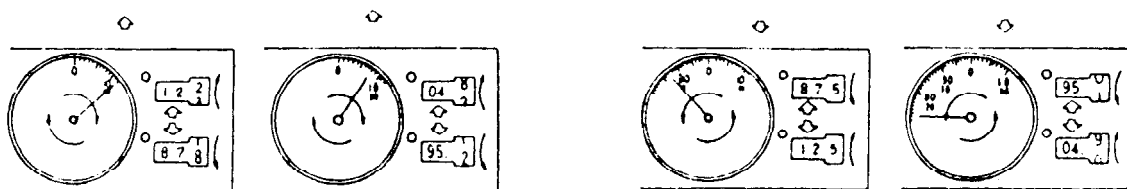
## Medidores de altura

1. Identifique las partes indicadas en el medidor de alturas mostrado en la figura:

- |           |                                    |
|-----------|------------------------------------|
| 1. _____  | Cursor                             |
| 2. _____  | Tornillo de fijación del trazador  |
| 3. _____  | Tecla de encendido                 |
| 4. _____  | Tecla de mantener                  |
| 5. _____  | Tornillo de cubierta de baterías   |
| 6. _____  | Palpador de señal de contacto      |
| 7. _____  | Columna                            |
| 8. _____  | Base                               |
| 9. _____  | Manivela de avance                 |
| 10. _____ | Freno                              |
| 11. _____ | Tecla del cero                     |
| 12. _____ | Tecla para cambio mm/pulg          |
| 13. _____ | Cubierta de las baterías           |
| 14. _____ | Baterías                           |
| 15. _____ | Posición de manivela avance fino   |
| 16. _____ | Posición de manivela avance rápido |
| 17. _____ | Trazador                           |
| 18. _____ | Pantalla (LCD)                     |
| 19. _____ | Tecla para prefijado               |



2. Indique la lecturas mostradas en las siguientes figuras.



a) \_\_\_\_\_ mm   b) \_\_\_\_\_ pulg   c) \_\_\_\_\_ mm   d) \_\_\_\_\_ pulg

3. ¿Qué es más frecuentemente utilizado con un medidor de alturas no electrodigital?
  - a) Sensor de contacto
  - b) Indicador de carátula tipo palanca
  - c) Trazador de círculos
  - d) Barra de profundidades
4. El medidor de alturas normalmente debe apoyarse sobre:
  - a) Una superficie maquinada
  - b) Una superficie de referencia
  - c) Una mesa
  - d) Una superficie plana de referencia
5. El medidor de alturas debe moverse sobre la superficie plana de referencia apoyándose en:
  - a) La columna
  - b) El cursor
  - c) La base
  - d) El trazador
  - e) Cualquiera de los anteriores
6. El medidor de alturas mantiene la misma exactitud dentro de todo su rango de medición:
  - a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe
  - d) A veces
7. El medidor de alturas mantiene la misma legibilidad (resolución) dentro de todo su rango de medición:
  - a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe
  - d) A veces
8. ¿Cuál debe ser el uso más importante del trazador?
  - a) Medición
  - b) Localización
  - c) Facilitar el trabajo
  - d) Trazar
9. En un medidor de alturas el ajuste del cero:
  - a) Es hecho por el fabricante
  - b) Debe verificarse periódicamente
  - c) Debe verificarse antes de empezar a medir
  - d) No cambia con el tiempo
  - e) Debe verificarse sólo cuando se calibre

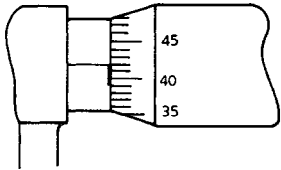
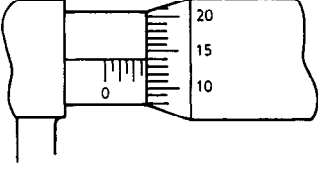
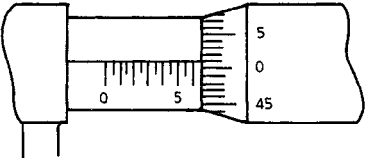
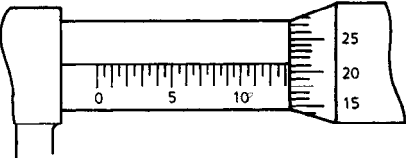
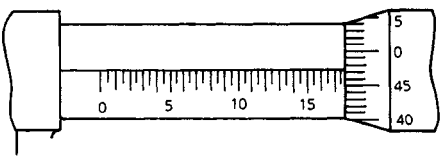
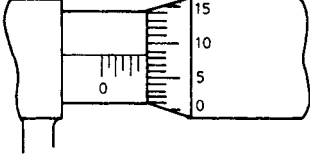
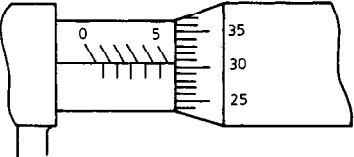
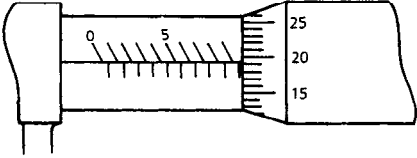


10. El factor más importante por considerar al hacer mediciones con el medidor de alturas es:
  - a) La limpieza de la base
  - b) El control de la fuerza de medición
  - c) La limpieza de la superficie plana de referencia
  - d) El deslizamiento adecuado del cursor
11. Si un medidor de alturas pierde la perpendicularidad entre la superficie de referencia de la base y la columna, se afecta su:
  - a) Repetibilidad
  - b) Reproducibilidad
  - c) Exactitud
  - d) Legibilidad
  - e) Resolución
12. Muchos problemas de medición pueden resolverse utilizando un medidor de alturas, un indicador de carátula tipo palanca y una superficie plana de referencia:
  - a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe
  - d) A veces
13. Un medidor de alturas electrodigital proporciona lecturas más exactas que un medidor de alturas con vernier:
  - a) Siempre
  - b) Nunca
  - c) Depende del modelo
  - d) Cierto
  - e) Falso
14. El uso de un indicador de carátula tipo palanca con un medidor de alturas mejora la:
  - a) Exactitud
  - b) Legibilidad
  - c) Repetibilidad
  - d) Trazabilidad
15. En los medidores de altura electrodigitales es recomendable utilizar:
  - a) Un palpador
  - b) Un palpador de señal de contacto
  - c) Un palpador de señal de contacto bidireccional
  - d) Un indicador de carátula tipo palanca
  - e) Un sensor de contacto
16. Se tiene dos contadores en los medidores de altura con indicador de carátula y contador:
  - a) Por el juego en el mecanismo
  - b) Por facilidad de lectura
  - c) Porque no alcanza el rango del indicador de carátula
  - d) Por necesidad de fabricación

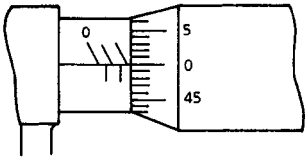
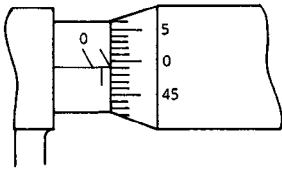
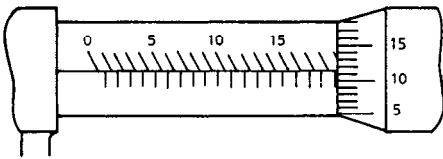
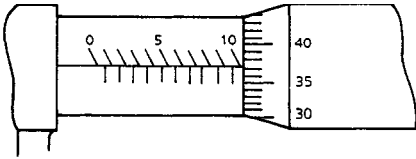
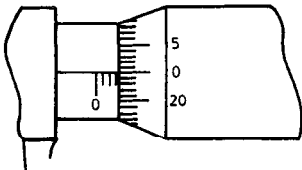
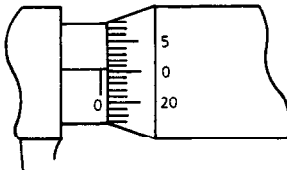
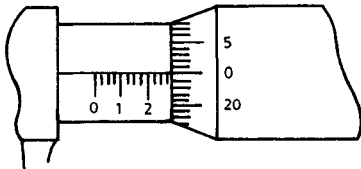
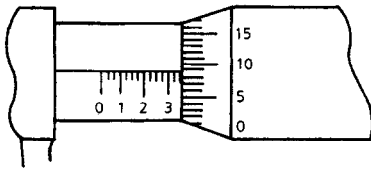
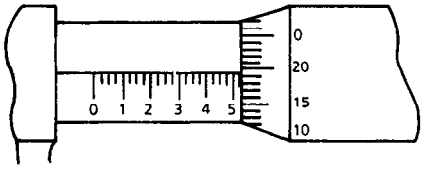
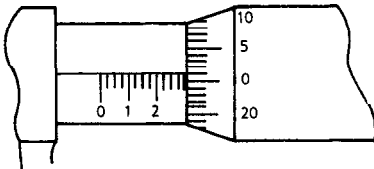
## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 9

## Micrómetros

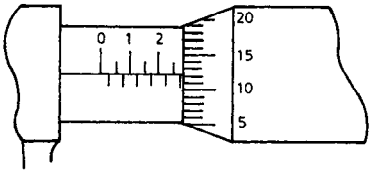
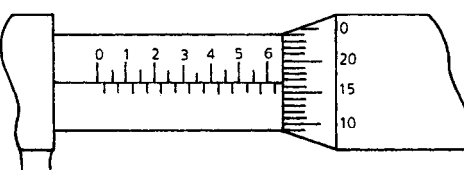
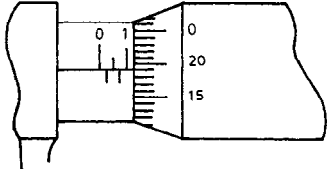
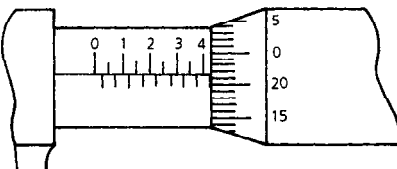
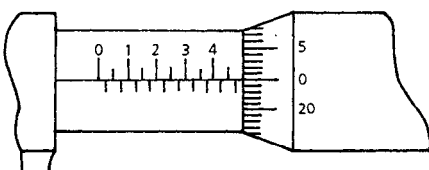
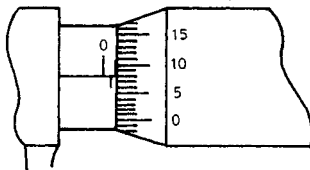
Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada.

<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>1</p>
<p>3</p> 	<p>4</p> 	<p>2</p>
<p>5</p> 	<p>6</p> 	<p>3</p>
<p>7</p> 	<p>8</p> 	<p>4</p>
		<p>5</p>
		<p>6</p>
		<p>7</p>
		<p>8</p>

Anote en el número que corresponde el valor de la lectura indicada.

9		9	
10		10	
11		11	
12		12	
13		13	
14		14	
15		15	
16		16	
17		17	
18		18	

Anote en el número que corresponde el valor de la lectura indicada.

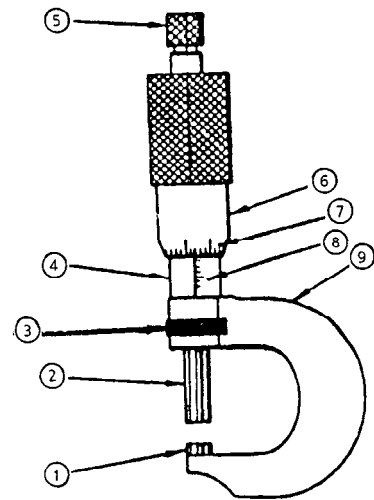
<p>19</p> 	<p>20</p> 	<p>19</p>
<p>21</p> 	<p>22</p> 	<p>20</p>
<p>23</p> 	<p>24</p> 	<p>21</p>
		<p>22</p>
		<p>23</p>
		<p>24</p>

25. Los micrómetros son instrumentos diseñados de acuerdo con la ley de Abbe:
- a) Todos
  - b) Ciento
  - c) No todos
  - d) Falso

100

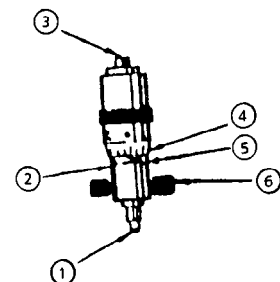
26. Identificar las partes indicadas en el micrómetro de exteriores mostrado en la figura:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. \_\_\_\_\_
9. \_\_\_\_\_



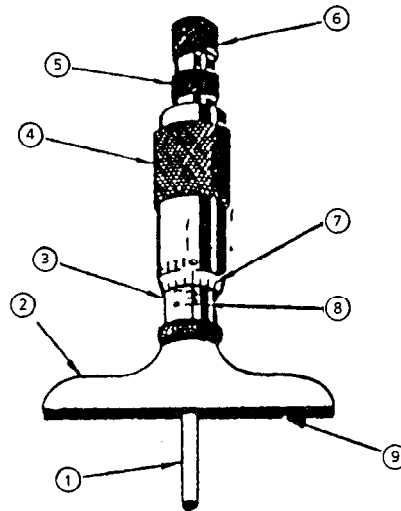
27. Identificar las partes indicadas en el micrómetro de interiores mostrado en la figura:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_



28. Identificar las partes indicadas en el micrómetro de profundidades mostrado en la figura:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. \_\_\_\_\_
9. \_\_\_\_\_



29. ¿Cuál es la razón principal por la que se requeriría usar un micrómetro en vez de un calibrador vernier?
- a) Su mejor legibilidad
  - b) La facilidad de lectura
  - c) Controlar la fuerza de medición
  - d) Medir con mayor exactitud
30. ¿Cuál es la función del freno?
- a) Fijar una lectura
  - b) Asegurar el husillo cuando el micrómetro se almacena
  - c) Fijar una lectura para usarlo como calibrador límite
  - d) Ninguna
31. Los micrómetros normales en milímetros tienen un tornillo con:
- a) Rosca izquierda
  - b) Legibilidad de 0.01 mm
  - c) Paso de 0.5 mm
  - d) Rosca fina
32. Un micrómetro normal para lecturas en pulgadas tiene un tornillo con:
- a) Rosca Acme
  - b) Paso de .025 pulg
  - c) Rosca fina
  - d) Legibilidad de .001 pulg

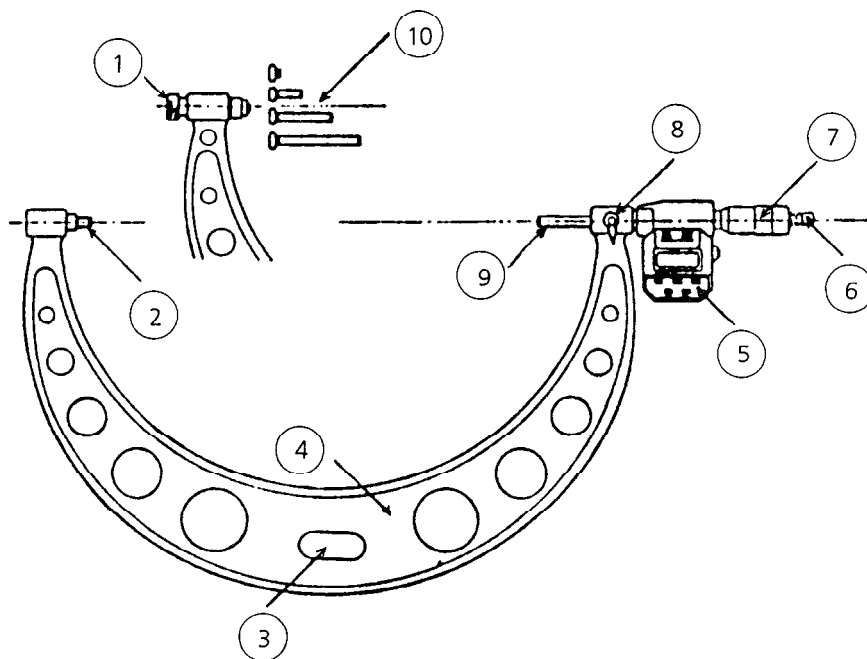
33. El uso de una escala vernier sobre el cilindro de un micrómetro permite obtener lecturas hasta:
- 0.1 mm
  - 0.01 mm
  - 0.001 mm
  - 0.0001 mm
34. Los micrómetros de tamaño grande requieren:
- Sujetarlos a un soporte
  - Ajustarse a cero en la misma posición en que se van a usar
  - Varillas intercambiables
  - Utilizarse con mayor cuidado
35. Los micrómetros con husillo no giratorio:
- Tienen doble husillo
  - Son muy comunes
  - Sólo existen en modelos digitales
  - No existen
36. El uso de una base permite:
- Utilizar más cómodamente el trinquete
  - Medir más rápidamente
  - Sujetar el micrómetro
  - Facilidad de lectura
37. Los micrómetros para medición de rosca proporcionan el diámetro:
- Exterior
  - De paso
  - Interior
  - Mayor
  - Menor
38. Las graduaciones están dadas en la dirección inversa sobre el cilindro en los micrómetros de:
- Varillas intercambiables
  - Interiores
  - Tres puntos de contacto
  - Profundidades
39. Para el ajuste a cero de micrómetros de interiores es necesario auxiliarse de:
- Un micrómetro de exteriores
  - Un anillo patrón
  - Una barra patrón
  - Bloques patrón
40. Una cabeza micrométrica es como un micrómetro de exteriores sin:
- Trinquete
  - Arco
  - Freno
  - Tope de medición

41. El error instrumental es definido como:
  - a) Un error en las lecturas que proporciona un instrumento
  - b) La tolerancia de fabricación del instrumento
  - c) La diferencia entre la dimensión de un patrón y la lectura proporcionada por un instrumento
  - d) Lo contrario a la exactitud
42. El error instrumental puede determinarse mediante:
  - a) Bloques patrón
  - b) Calibración
  - c) Normas
  - d) Inspección
43. En operación normal el trinquete debe sonar:
  - a) De 1 a 3 veces
  - b) Varias veces
  - c) De 15 a 20 veces
  - d) Más de 25 veces
44. Al usar un micrómetro de varillas intercambiables primordialmente debe tenerse cuidado con:
  - a) La limpieza de las varillas
  - b) El ajuste de las varillas
  - c) El desgaste de las varillas
  - d) El ajuste adecuado del cero
45. La medición de diámetros interiores con calibres telescópicos requiere:
  - a) Gran habilidad del operador
  - b) Un micrómetro de exteriores
  - c) El uso del trinquete
  - d) El uso de un soporte
  - e) Colocar el calibre en la posición correcta
46. ¿Cómo podría un inspector desarrollar la habilidad para tomar medidas confiables con un micrómetro?
  - a) Haciendo un estudio de repetibilidad y reproducibilidad
  - b) Tomando un curso intensivo
  - c) Practicando
  - d) Preguntando a sus compañeros
  - e) Conociendo las normas internacionales vigentes
47. El principio en que está basado el micrómetro depende de:
  - a) El paso del tornillo utilizado
  - b) La relación entre los movimientos circular y el axial de un tornillo
  - c) El movimiento circular del tornillo
  - d) El desplazamiento axial con respecto a una tuerca
  - e) Ninguno de los anteriores



48. Identifique a las partes indicadas en el micrómetro de exteriores de la figura:

- |           |                       |
|-----------|-----------------------|
| 1. _____  | Placa de datos        |
| 2. _____  | Husillo               |
| 3. _____  | Tope                  |
| 4. _____  | Arco                  |
| 5. _____  | Pantalla              |
| 6. _____  | Topes intercambiables |
| 7. _____  | Freno                 |
| 8. _____  | Tuerca de sujeción    |
| 9. _____  | Tambor                |
| 10. _____ | Trinquete             |

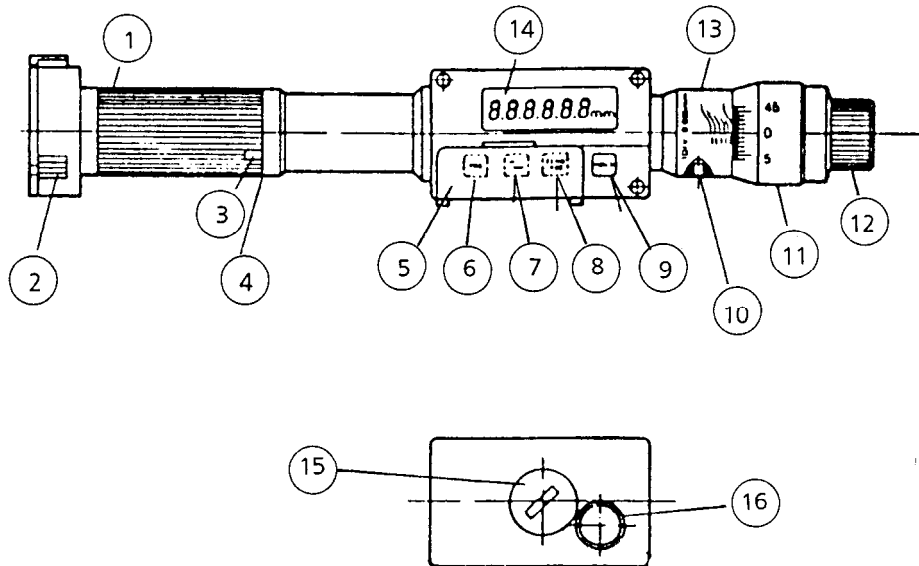


49. Las cabezas micrométricas generalmente tienen rangos de:

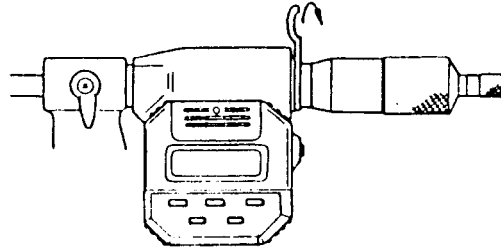
- a) 25 mm
- b) 25 o 50 mm
- c) 50 mm
- d) Ninguno de los anteriores

50. Identifique las partes indicadas en el micrómetro de interiores de la figura:

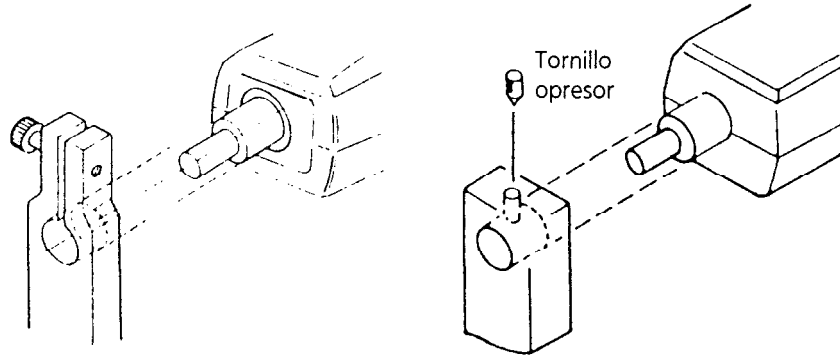
- |           |  |
|-----------|--|
| 1. _____  | Tecla CERO/ABS                             |
| 2. _____  | Cubierta de la batería                     |
| 3. _____  | Tapa                                       |
| 4. _____  | Tambor                                     |
| 5. _____  | Tecla de mantener                          |
| 6. _____  | Puntas de contacto                         |
| 7. _____  | Pantalla                                   |
| 8. _____  | Tecla de prefijado                         |
| 9. _____  | Cilindro exterior                          |
| 10. _____ | Tecla mm/pulg                              |
| 11. _____ | Placa resorte                              |
| 12. _____ | Tornillo de fijación del cilindro exterior |
| 13. _____ | Conector de salida                         |
| 14. _____ | Trinquete                                  |
| 15. _____ | Mango                                      |
| 16. _____ | Conector de la cabeza                      |



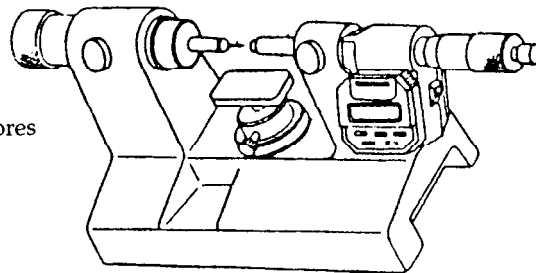
51. Si se desea ajustar a cero el cilindro y el tambor de un micrómetro electrodigital (véase figura) sería correcto apoyarse en:
- Cualquier lugar
  - El cuerpo de la pantalla
  - El arco
  - La fuerza del freno



52. En relación con las figuras mostradas ¿cuál sería la forma correcta de montaje de una cabeza micrométrica?
- Figura de la izquierda
  - Figura de la derecha



53. El micrómetro mostrado en las figuras se denomina
- Horizontal
  - De banco
  - Especial
  - Electrodigital
  - Ninguno de los anteriores



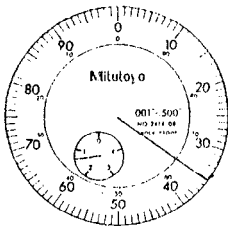
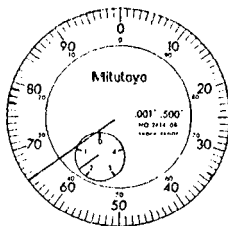
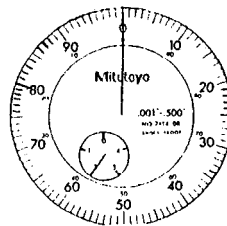
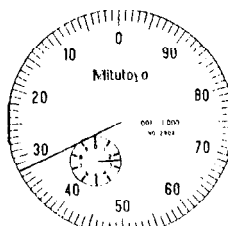
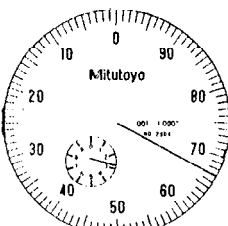
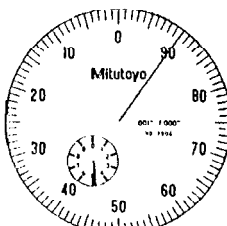
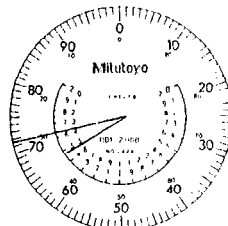
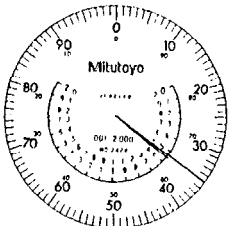
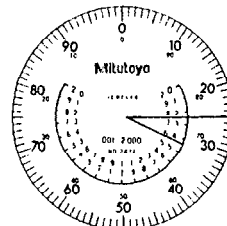
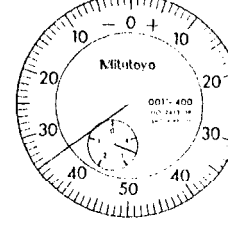
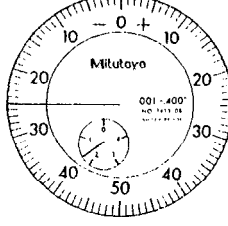
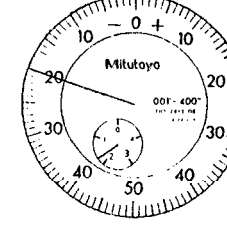
54. Las cabezas micrométricas pueden ser:
- a) Convencionales
  - b) Electrodigitales con pantalla integrada
  - c) Electrodigitales con contador
  - d) Digitales
  - e) Todo lo anterior
55. Las graduaciones en un micrómetro de interiores con respecto a las de un micrómetro de exteriores están:
- a) En la misma forma
  - b) En forma diferente
  - c) En forma inversa
  - d) En cualquier forma
56. Las graduaciones en un micrómetro de profundidad en relación con las de un micrómetro de exteriores están:
- a) En la misma forma
  - b) En forma diferente
  - c) En forma inversa
  - d) En cualquier forma

**EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 10****Indicadores**

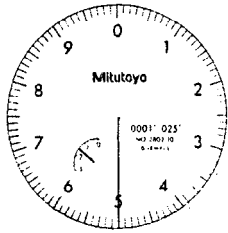
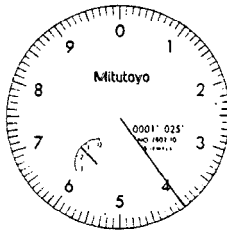
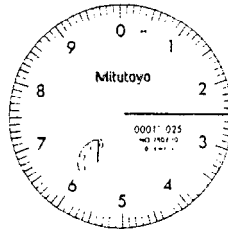
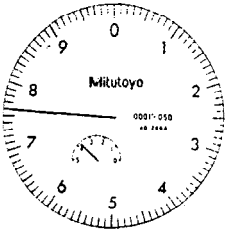
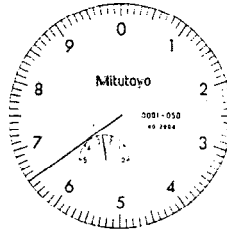
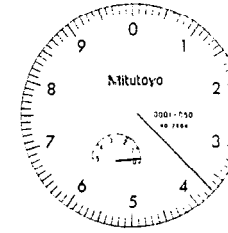
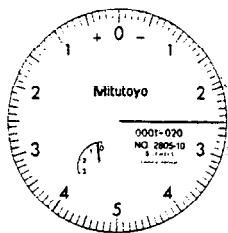
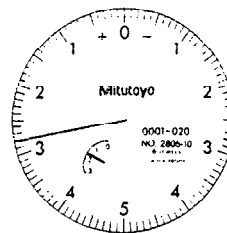
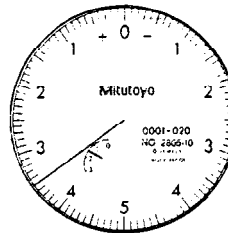
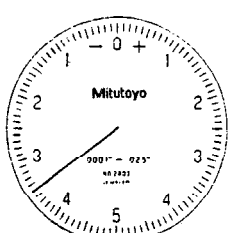
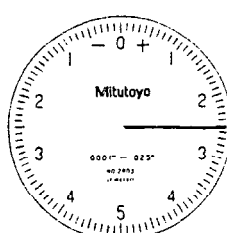
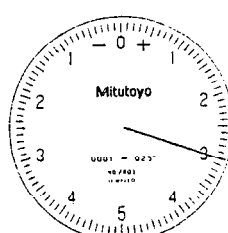
Para los ejercicios 1 a 64 considere los siguientes puntos:

- a) La aguja principal gira en sentido horario y la aguja cuentavueltas en sentido antihorario, excepto en los ejercicios 4, 5 y 6 en donde ocurre al revés.
- b) Para las carátulas del tipo balanceado considere que la aguja no ha dado más de media vuelta, debiendo reportarse valores positivos o negativos.
- c) En los ejercicios 61, 62, 63 y 64 la respuesta deberá darse como dentro o fuera de tolerancia.
- d) Considere siempre que el husillo sube.
- e) Antes de tratar de determinar la lectura, asegúrese de tener claro cuánto vale cada división en la carátula principal y en la carátula de cuentavueltas.
- f) En una aplicación práctica usted siempre verá físicamente lo que está ocurriendo y le será más fácil tomar la lectura.

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada.

1		2		3			
4		5		6			
7		8		9			
10		11		12			
1		2		3		4	
5		6		7		8	
9		10		11		12	

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada.

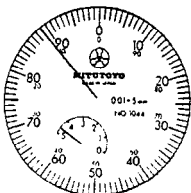
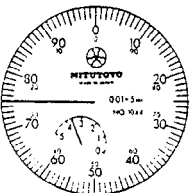
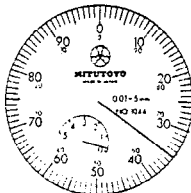
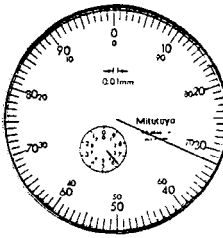
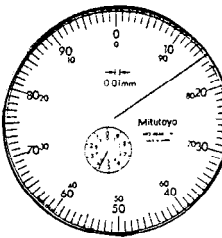
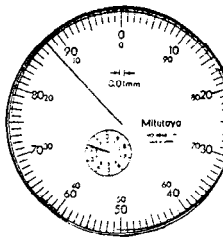
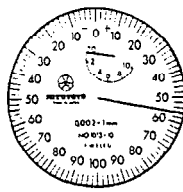
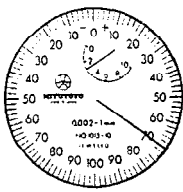
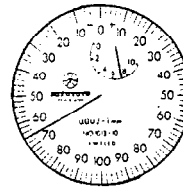
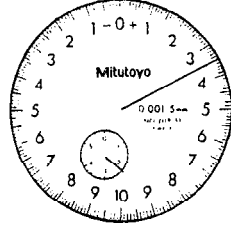
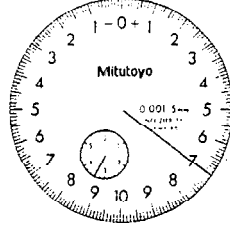
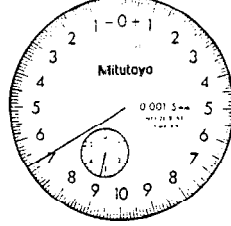
13		14		15			
16		17		18			
19		20		21			
22		23		24			
13		14		15		16	
17		18		19		20	
21		22		23		24	

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada.

25		26		27	
28		29		30	
31		32		33	
34		35		36	
25		26		27	
29		30		31	
33		34		35	



Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada.

37		38		39	
40		41		42	
43		44		45	
46		47		48	
37		38		39	
41		42		43	
45		46		47	
40		44		48	

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada

<p>49</p>	<p>50</p>	<p>51</p>	<p>52</p>
<p>53</p>	<p>54</p>	<p>55</p>	<p>56</p>
<p>57</p>	<p>58</p>	<p>59</p>	<p>60</p>
<p>61</p>	<p>62</p>	<p>63</p>	<p>64</p>
<p>49</p>	<p>50</p>	<p>51</p>	<p>52</p>
<p>53</p>	<p>54</p>	<p>55</p>	<p>56</p>
<p>57</p>	<p>58</p>	<p>59</p>	<p>60</p>
<p>61</p>	<p>62</p>	<p>63</p>	<p>64</p>

65. El ancho de las graduaciones en un indicador de carátula debe ser el mismo que el ancho de la aguja indicadora:
- a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe
66. Las graduaciones sobre la carátula de un indicador pueden estar dispuestas:
- a) Continuamente en sentido horario
  - b) Continuamente en sentido antihorario
  - c) Continuamente en sentido horario y antihorario
  - d) En forma balanceada (por ejemplo, 0-10-0)
  - e) Todo lo anterior
67. Generalmente cuando el valor de la mínima división en un indicador de carátula disminuye el rango:
- a) Permanece igual
  - b) Aumenta
  - c) Disminuye
  - d) Es independiente
68. El mecanismo de los indicadores de carátula actualmente consta de:
- a) Múltiples palancas
  - b) Una combinación de palancas y engranes
  - c) Trenes de engranes
  - d) a y b
  - e) b y c
69. Al hacer mediciones con un indicador de carátula, el husillo debe quedar:
- a) Tan paralelo a la superficie por inspeccionar como sea posible
  - b) Perpendicular a la superficie por inspeccionar
  - c) En cualquier posición segura
  - d) En cualquier posición posible
70. Al hacer mediciones con un indicador de carátula tipo palanca, el eje de la punta de contacto debe quedar:
- a) Tan paralelo a la superficie por inspeccionar como sea posible
  - b) Perpendicular a la superficie por inspeccionar
  - c) En cualquier posición segura
  - d) En cualquier posición posible
71. La punta de contacto de un indicador de carátula tipo palanca puede ser cambiada de posición sin alterar la colocación y el buen funcionamiento del indicador:
- a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe

72. Si se cambia la punta de contacto de un indicador de carátula tipo palanca la nueva punta debe ser:
- a) De la misma longitud
  - b) Más larga
  - c) Más corta
  - d) De la misma longitud y diámetro de punta
  - e) Del mismo diámetro de punta
73. Al indicador de carátula tipo palanca también se le conoce con el nombre de indicador:
- a) Comparativo
  - b) De control
  - c) Vertical
  - d) Horizontal
  - e) Universal
74. Con un indicador electrodigital de tamaño y forma similares a las del indicador de carátula generalmente se tiene mejor
- a) Facilidad
  - b) Resolución
  - c) Trazabilidad
  - d) Amplificación
  - e) Sensitividad
75. El indicador de carátula puede ser utilizado:
- a) Sólo en posición vertical
  - b) Sólo en posición horizontal
  - c) Sólo en posición horizontal y vertical
  - d) En cualquier posición
76. El rango de un indicador es:
- a) Todo lo que puede girar la aguja
  - b) La máxima longitud que puede medirse confiablemente
  - c) La diferencia entre las lecturas máxima y mínima
  - d) El recorrido total del husillo

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 11

## Instrumentos electrodigitales

Indique en cada caso la letra correspondiente a cada término:

- |           |        |           |        |           |       |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|-------|
| 1. _____  | PRESET | 2. _____  | RUNOUT | 3. _____  | ZERO  |
| 4. _____  | ABS    | 5. _____  | INC    | 6. _____  | HOLD  |
| 7. _____  | ORIGIN | 8. _____  | ON/OFF | 9. _____  | in/mm |
| 10. _____ | LOWER  | 11. _____ | UPPER  | 12. _____ | MODE  |

- |              |                      |             |             |             |
|--------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| a. cabeceo   | b. incremental       | c. cero     | d. mantener | e. modo     |
| f. superior  | g. pulg/mm           | h. absoluto | i. origen   | j. inferior |
| k. prefijado | l. encendido/apagado |             |             |             |

13. Para el control estadístico del proceso, la función más útil de un instrumento electrodigital es:
  - a) La del fijado del cero
  - b) La de mantener (congelar) un valor en pantalla
  - c) La de salida de datos
  - d) La conversión mm/pulg
14. Las mediciones realizadas con un calibrador electrodigital están libres del error de:
  - a) Posición
  - b) Paralaje
  - c) Abbe
  - d) Distorsión
15. Un medidor de alturas electrodigital proporciona lecturas más exactas que un medidor de alturas con vernier.
  - a) Cierto
  - b) Falso
  - c) Siempre
  - d) Nunca
  - e) Depende del modelo
16. En los medidores de altura electrodigitales es recomendable utilizar
  - a) Un palpador
  - b) Un palpador de señal de contacto
  - c) Un palpador de señal de contacto bidireccional
  - d) Un indicador de carátula tipo palanca
  - e) Un sensor de contacto



17. Con un indicador electrodigital de tamaño y forma similares a las del indicador de carátula generalmente se tiene mejor:
- a) Sensitividad
  - b) Amplificación
  - c) Trazabilidad
  - d) Resolución
  - e) Facilidad
18. Un indicador electrodigital puede ser utilizado
- a) Sólo en posición horizontal y vertical
  - b) En cualquier posición
  - c) Sólo en posición horizontal
  - d) Sólo en posición vertical
19. Al hacer mediciones con un indicador electrodigital el husillo debe desplazarse:
- a) Hacia arriba
  - b) De izquierda a derecha
  - c) En la dirección que se desea la medición
  - d) Paralelo a la superficie por medir
  - e) Perpendicular al eje
20. Cuando se desea obtener las dimensiones reales de piezas, la función más útil en un indicador electrodigital es:
- a) La del fijado del cero
  - b) La de mantener (congelar) un valor en pantalla
  - c) La de prefijado
  - d) La conversión mm/pulg
21. La función de fijado de origen es útil en:
- a) Calibradores
  - b) Medidores de altura
  - c) Micrómetros
  - d) Indicadores
22. El juicio pasa-no pasa con un indicador electrodigital es posible:
- a) Siempre
  - b) Nunca
  - c) Sólo con rayos infrarrojos
  - d) Depende del modelo
  - e) Sólo con control remoto
23. Los instrumentos electrodigitales usan como fuente de energía:
- a) Batería
  - b) Adaptador para corriente alterna
  - c) Energía luminosa
  - d) Alguno de los anteriores

24. El tipo de salida más común de interfaces o microprocesadores que se requieren para pasar los datos de un instrumento electrodigital a una computadora es:
- a) RS 422C
  - b) GP-IC
  - c) GP-IB
  - d) RS-232C
25. La principal ventaja de los instrumentos electrodigitales sobre los analógicos es:
- a) Metrológica
  - b) El manejo de datos
  - c) Electrónica
  - d) Su facilidad de lectura
  - e) Que son insensibles a la temperatura
26. El instrumento electrodigital más comúnmente utilizado en la construcción de dispositivos de inspección que midan simultáneamente varias características de una pieza es:
- a) La cabeza micrométrica
  - b) La escala lineal
  - c) El indicador
  - d) El palpador de señal de contacto bidireccional
  - e) El micrómetro láser
27. Para ajustar correctamente a cero un medidor electrodigital de agujeros se debe utilizar:
- a) La tecla del cero
  - b) Un bloque patrón
  - c) Un anillo patrón
  - d) Topes intercambiables
  - e) Un miniprocesador
28. En los instrumentos electrodigitales se tiene que la repetibilidad es numéricamente igual a la resolución:
- a) Siempre
  - b) No siempre
  - c) Nunca
  - d) No se sabe
29. Idealmente, la repetibilidad debería ser igual a la resolución:
- a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe
  - d) A veces
30. En algunos instrumentos electrodigitales, el último dígito mostrado a la derecha en la pantalla por lo general no es consistente con:
- a) La resolución
  - b) La exactitud
  - c) La amplificación
  - d) El rango de medición

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 12

## Bloques patrón

Determine los bloques patrón requeridos para formar las medidas dadas. Considérese que se cuenta con dos bloques de desgaste de 2 mm (.050 pulg) cada uno y con los bloques patrón listados en las dos tablas siguientes:

Tamaños disponibles en un juego de 88 bloques patrón en milímetros.

1 bloque de 1.0005 mm									
Serie de 0.001 mm (9 bloques)									
1.001	1.002	1.003	1.004	1.005	1.006	1.007	1.008	1.009	
Serie de 0.01 mm (49 bloques)									
1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10
1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20
1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.30
1.31	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36	1.37	1.38	1.39	1.40
1.41	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49	
Serie de 0.5 mm (19 bloques)									
0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	
Serie de 10 mm (10 bloques)									
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100



## Tamaños disponibles en juego de 81 bloques patrón en pulgadas.

Serie de .0001 pulg (9 bloques)									
.1001	.1002	.1003	.1004	.1005	.1006	.1007	.1008	.1009	
Serie de .001 pulg (49 bloques)									
.101	.102	.103	.104	.105	.106	.107	.108	.109	.110
.111	.112	.113	.114	.115	.116	.117	.118	.119	.120
.121	.122	.123	.124	.125	.126	.127	.128	.129	.130
.131	.132	.133	.134	.135	.136	.137	.138	.139	.140
.141	.142	.143	.144	.145	.146	.147	.148	.149	
Serie de .050 pulg (19 bloques)									
.050	.100	.150	.200	.250	.300	.350	.400	.450	.500
.550	.600	.650	.700	.750	.800	.850	.900	.950	
Serie de 1 pulg (4 bloques)									
1.000			2.000			3.000			4.000

1	32.079 mm	2	89.694 mm	3	74.213 mm

4	65.418 mm	5	2.1743 pulg	6	6.2937 pulg
7	7.8923 pulg	8	4.3684 pulg	9	5.4656 pulg

Indique los valores solicitados para los bloques patrón indicados.

10	25 mm Grado 0	11	10 mm Grado 1	12	14.5 mm Grado 2
Tolerancia _____ Longitud máxima admisible _____ Longitud mínima admisible _____		Tolerancia _____ Longitud máxima admisible _____ Longitud mínima admisible _____		Tolerancia _____ Longitud máxima admisible _____ Longitud mínima admisible _____	
13	.500 pulg Grado 1	14	.750 pulg Grado 2	15	1.00 pulg Grado 3
Tolerancia _____ Longitud máxima admisible _____ Longitud mínima admisible _____		Tolerancia _____ Longitud máxima admisible _____ Longitud mínima admisible _____		Tolerancia _____ Longitud máxima admisible _____ Longitud mínima admisible _____	

16. ¿Cuál es la principal ventaja de utilizar bloques patrón protectores del desgaste?
  - a) Son más exactos que otros bloques
  - b) Son más duros porque están hechos de carburo
  - c) Protegen a los bloques patrón de un juego
  - d) Requieren menos cuidados
17. Las tolerancias para los bloques patrón en milímetros están dadas en:
  - a) Décimas de micrómetro
  - b) Micrómetros
  - c) Centésimas de micrómetro
  - d) Centésimas de milímetro
18. Al formar una dimensión con bloques patrón es recomendable:
  - a) Usar el mínimo número posible de bloques patrón
  - b) Usar bloques patrón múltiplos de 5 mm
  - c) Usar cualquier combinación que dé la medida deseada
  - d) Seleccionar cuidadosamente los bloques que vayan a utilizarse
19. ¿Cuál es la principal razón para la calibración periódica de los bloques patrón?
  - a) Satisfacer los requerimientos de ISO 9000.
  - b) Mostrar el certificado al auditor
  - c) Asegurar su exactitud
  - d) Evitar problemas
  - e) Su mantenimiento
20. ¿Cómo se calibran generalmente los bloques patrón?
  - a) Mediante comparación con bloques patrón de un grado de exactitud mayor
  - b) Midiéndolos en un laboratorio a 20°C y 58% H.R.
  - c) Colocándolos en posición horizontal
  - d) Con una máquina de medición por coordenadas de control numérico

21. ¿Qué debe hacerse con los bloques patrón que no satisfacen el criterio de aceptación al ser calibrados?
- a) Lapearse
  - b) Rectificar las caras de medición hasta que dé la siguiente medida inferior
  - c) Marcarse
  - d) Degradarse o dejar de usarse
  - e) Repararse
22. Para unir adecuadamente bloques patrón es muy importante:
- a) No dejarlos caer
  - b) La limpieza
  - c) Utilizarlos siempre a 20°C
  - d) La adherencia
  - e) Seguir el procedimiento recomendado
23. La capacidad de poder relacionar las mediciones hechas con un instrumento cualquiera con patrones nacionales mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones es denominada:
- a) Calibración periódica
  - b) Medición *round robin*
  - c) Intercomparación
  - d) Trazabilidad
24. El certificado de calibración de un juego de bloques patrón sirve para:
- a) Mostrarlo al auditor
  - b) Demostrar que se satisfacen los requerimientos de ISO 9000
  - c) Mantener actualizado el archivo de calibración de patrones
  - d) Conocer la exactitud de cada bloque patrón
  - e) Garantizar que se usan correctamente
25. La determinación de la planitud de las caras de medición de los bloques patrón con planos ópticos se basa en:
- a) El número de franjas observadas
  - b) La curvatura de las franjas observadas
  - c) El espesor del plano óptico
  - d) La habilidad de la persona que observa
  - e) Todo lo anterior
26. Los bloques patrón pueden cambiar ligeramente su dimensión a través del tiempo debido a:
- a) El alto contenido de carbono
  - b) Presencia de cementita residual
  - c) La liberación de esfuerzos residuales
  - d) La presencia de carburos

27. A un bloque patrón de 100 mm grado 0 le es permitido variar su longitud en un año, debido a su falta de estabilidad dimensional, un máximo de:
- a)  $\pm 0.15 \mu\text{m/año}$
  - b)  $\pm 0.0004 \mu\text{m/año}$
  - c)  $\pm 0.07 \mu\text{m/año}$
  - d)  $\pm 0.0007 \text{ mm/año}$
  - e) No se sabe
28. La piedra de Arkansas puede ser utilizada para:
- a) Eliminar rebabas pequeñas de la cara de medición
  - b) Limpiar las caras
  - c) Lapear las caras de medición
  - d) Asegurar la adherencia de los bloques patrón
29. Un bloque patrón de acero de 75 mm grado 1 aumentaría su longitud al incrementarse  $5^\circ\text{C}$  la temperatura.
- a) 0.043 mm
  - b)  $0.43 \mu\text{m}$
  - c) 0.0043 mm
  - d)  $43 \mu\text{m}$
30. El uso de los accesorios para bloques patrón permite:
- a) Mayor facilidad de medición
  - b) Mediciones y trazos diversos
  - c) Aumentar la rapidez de medición
  - d) Ninguno de los anteriores
31. Entre las aplicaciones más comunes de los bloques patrón se encuentra:
- a) La puesta a cero de una variedad de instrumentos
  - b) La inspección de piezas
  - c) Su uso con la regla de senos
  - d) Trazado de piezas antes de maquinarlas
32. La sección transversal de los bloques patrón rectangulares
- a) Es la misma para todos
  - b) Existen dos tamaños diferentes
  - c) Es proporcional a la medida de los bloques
  - d) Es de  $32.5 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 13

## Superficies planas de referencia

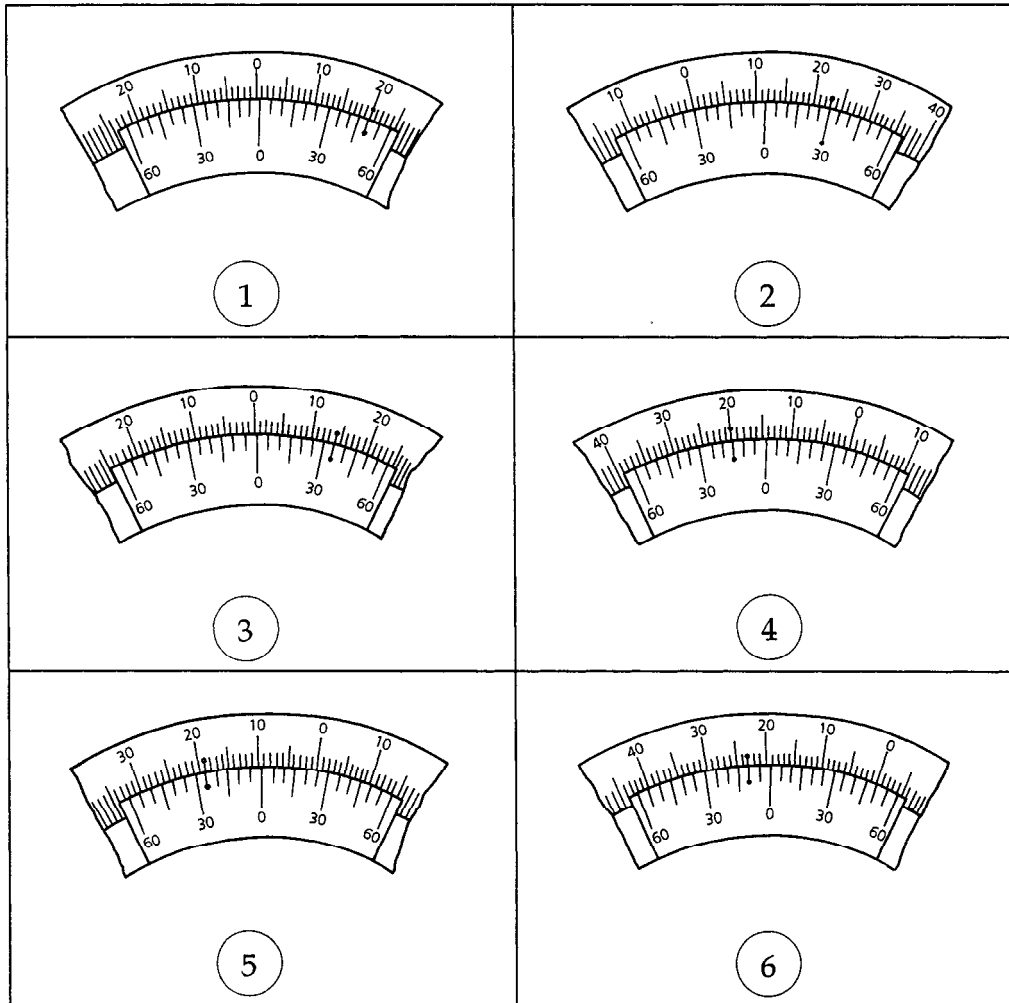
1. ¿Cuál es la característica más importante de una superficie plana de referencia?
  - a) Su resistencia al desgaste
  - b) Proporcionar exactitud en mediciones que se realicen sobre ella
  - c) Proporcionar una referencia para mediciones
  - d) Permitir el fácil desplazamiento de instrumentos sobre ella
2. El color de una mesa de granito puede ser
  - a) Gris
  - b) Verde
  - c) Rosa
  - d) Sólo negro
  - e) Cualquiera de los anteriores
3. Las vetas que se observan en las mesas de granito:
  - a) Son inclusiones que no afectan sus propiedades físicas
  - b) Son grietas
  - c) Son defectos
  - d) Afectan su dureza
4. El coeficiente de expansión térmica para el granito en el texto dado como de 3 a  $4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$ . En unidades SI esto es:
  - a)  $3.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$
  - b) 5.4 a  $7.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
  - c) 5.4 a  $7.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{K}$
  - d)  $3.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
5. La exactitud de una mesa de granito está primordialmente relacionada con:
  - a) El espesor de la mesa
  - b) El costo de la mesa
  - c) El peso de la mesa
  - d) El peso que puede soportar
  - e) La planitud de la superficie
6. Los insertos roscados en mesas de granito para sujeción de piezas
  - a) No son recomendables en mesas de grado AA
  - b) No deben colocarse muy cerca unos de otros
  - c) Pueden extraerse si se aplica un torque excesivo
  - d) Todo lo anterior
  - e) Sólo b y c

7. En la actualidad. ¿Qué material es más común para la fabricación de superficies planas de referencia?
- a) Cerámica
  - b) Hierro fundido
  - c) Granito
  - d) Mármol

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 14

## Medición angular

Anote en el número que corresponda el valor de la lectura indicada.



1

2

3

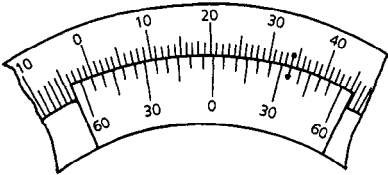
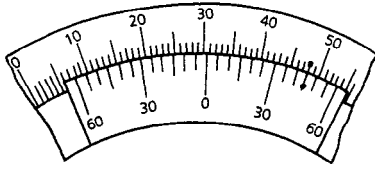
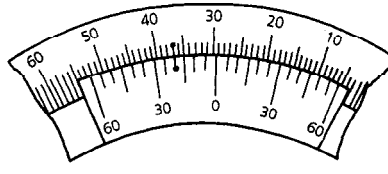
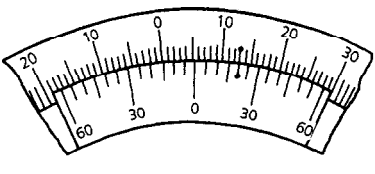
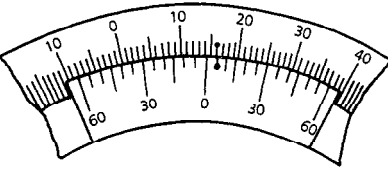
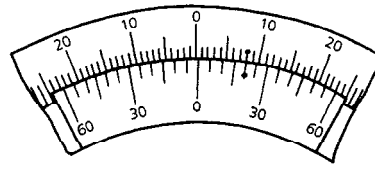
4

5

6

641



 <p>7</p>	 <p>8</p>	7
 <p>9</p>	 <p>10</p>	8
 <p>11</p>	 <p>12</p>	9
		10
		11
		12

En cada uno de los siguientes casos determine la altura de bloques patrón necesaria para colocar una regla de senos al ángulo indicado:

$L = 100 \text{ mm}$	$\alpha = 20^{\circ}15'$	$L = 100 \text{ mm}$	$\alpha = 12^{\circ}25'$	$L = 100 \text{ mm}$	$\alpha = 20.5^{\circ}$
13		14		15	
$L = 100 \text{ mm}$	$\alpha = 10.25^{\circ}$	$L = 200 \text{ mm}$	$\alpha = 18^{\circ}30'$	$L = 200 \text{ mm}$	$\alpha = 15^{\circ}25'$
16		17		18	
$L = 200 \text{ mm}$	$\alpha = 8.1^{\circ}$	$L = 200 \text{ mm}$	$\alpha = 5.2^{\circ}$	$L = 5 \text{ pulg}$	$\alpha = 22^{\circ}20'$
19		20		21	
$L = 5 \text{ pulg}$	$\alpha = 35^{\circ}40'$	$L = 5 \text{ pulg}$	$\alpha = 25.3^{\circ}$	$L = 5 \text{ pulg}$	$\alpha = 17.6^{\circ}$
22		23		24	
$L = 10 \text{ pulg}$	$\alpha = 10^{\circ}45'$	$L = 10 \text{ pulg}$	$\alpha = 32^{\circ}10'$	$L = 10 \text{ pulg}$	$\alpha = 38.7^{\circ}$
25		26		27	



28. De los siguientes instrumentos ¿cuál es el que da más exactitud en la medición de ángulos?
- Mesa de senos
  - Transportador
  - Goniómetro
  - Patrones angulares
  - Niveles
29. La legibilidad en un goniómetro común es de:
- 1 minuto
  - 5 minutos
  - 15 segundos
  - 30 segundos
  - 10 minutos
30. La regla de senos puede utilizarse para inspeccionar:
- Pendientes
  - Pendientes cónicas
  - Ángulos
  - Angularidad
  - Todo lo anterior
31. Una dimensión básica es una dimensión:
- Que sirve de base
  - De referencia
  - Teóricamente exacta
  - Todo lo anterior
  - Nada de lo anterior
32. Las tolerancias de angularidad y perpendicularidad son tolerancias:
- Unilaterales
  - Bilaterales
  - Simétricas
  - Geométricas de orientación

Expresar los ángulos dados en forma decimal:

33	20° 15'	34	15° 10'	35	24° 30'	36	12° 10' 15"
----	---------	----	---------	----	---------	----	-------------




Expresar los ángulos dados en forma sexagesimal:

37	10.25°	38	15.8°	39	22.6°	40	35.75°
----	--------	----	-------	----	-------	----	--------

Expresar los ángulos dados en radianes:

41	17° 20'	42	28° 15'	43	17.6°	44	22°
----	---------	----	---------	----	-------	----	-----

45. Tolerancias como la angularidad y perpendicularidad son especificadas utilizando
- a) Letras y números
  - b) Un marco de control de característica
  - c) Símbolos y letras
  - d) Números y símbolos
46. La tolerancia de angularidad no se emplea si el ángulo básico es de:
- a)  $15^\circ$
  - b)  $30^\circ$
  - c)  $45^\circ$
  - d)  $60^\circ$
  - e)  $90^\circ$
47. El término adecuado para legibilidad en los niveles de burbuja es:
- a) Resolución
  - b) Grado
  - c) Altura relativa
  - d) Grado de inclinación
  - e) Sensitividad
48. La sensitividad en los niveles está dada en:
- a) Decimales
  - b) Segundos
  - c) Minutos
  - d) Grados
49. Un nivel no puede emplearse sobre superficies verticales.
- a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe
  - d) Depende del tipo
50. La expresión de ángulos en radianes es comúnmente utilizada en:
- a) La industria
  - b) La escuela
  - c) Matemáticas
  - d) Los talleres
  - e) Los países industrializados
51. Un ángulo y su complemento suman:
- a)  $30^\circ$
  - b)  $45^\circ$
  - c)  $90^\circ$
  - d)  $180^\circ$
  - e)  $360^\circ$

52. Un ángulo y su suplemento suman:
- a)  $30^\circ$
  - b)  $45^\circ$
  - c)  $90^\circ$
  - d)  $180^\circ$
  - e)  $360^\circ$
53. No es recomendable utilizar una regla de senos en un ángulo significativamente mayor de:
- a)  $25^\circ$
  - b)  $30^\circ$
  - c)  $35^\circ$
  - d)  $40^\circ$
  - e)  $45^\circ$
54. La medición de un ángulo con la regla de senos requiere:
- a) Una escala graduada
  - b) Un indicador de carátula
  - c) Un goniómetro
  - d) Que la pieza esté nivelada
  - e) Un tope
55. El símbolo de angularidad es:
- a) 
  - b) 
  - c) ang
  - d)  $\alpha$
  - e) Ninguno de los anteriores
56. El símbolo de perpendicularidad es:
- a) 
  - b)  $90^\circ$
  - c)  $\top$
  - d)  $\perp$
  - e) Ninguno de los anteriores
57. La tolerancia de angularidad es en realidad
- a) Un ángulo
  - b) Una distancia
  - c) Una función trigonométrica
  - d) Algo que no se puede medir
  - e) Un valor numérico
58. La suma de los ángulos de un triángulo es:
- a)  $30^\circ$
  - b)  $45^\circ$
  - c)  $90^\circ$
  - d)  $180^\circ$
  - e)  $360^\circ$

59. La medición con la regla de senos requiere:
- a) Bloques patrón
  - b) Una escuadra
  - c) Un tope
  - d) Que la pieza esté nivelada
60. A la medición con nivel no la afectan las variaciones en la temperatura
- a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe
61. Generalmente los niveles tienen:
- a) Un tubo de vidrio
  - b) Dos tubos de vidrio
  - c) Tres tubos de vidrio
  - d) Cuatro tubos de vidrio

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 15

## Sistemas de ajustes y tolerancias

1. ¿Cuál es el significado de tolerancia?
  - a) La dimensión deseada de una característica
  - b) La exactitud deseada
  - c) Diferencia entre valor máximo y mínimo admisibles
  - d) La desviación admisible
  
2. ¿Cuáles son los límites de la dimensión  $30 \pm 0.2$ ?  

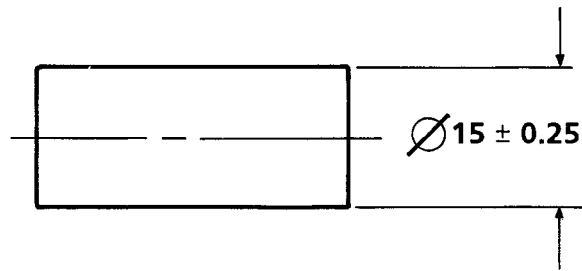
---
  
3. ¿Cuál es la tolerancia de la dimensión  $30 \pm 0.2$ ?  

---
  
4. ¿Qué sería la peor cosa que podría ocurrir si unas partes están fuera de tolerancia?
  - a) Se tendrían que reprocesar
  - b) Qué no ensamblen
  - c) Que las rechace el inspector
  - d) Se tendrían que separar
  
5. ¿Cuál es la dimensión especificada en la dimensión  $30 \pm 0.2$ ?  

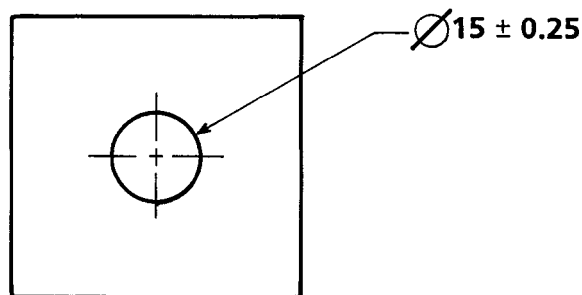
---
  
6. Un ajuste con interferencia es también referido como un ajuste \_\_\_\_\_ o de \_\_\_\_\_.
  
7. ¿Qué describe mejor una tolerancia unilateral?
  - a) Una tolerancia establecida por el comprador
  - b) Una tolerancia únicamente para características externas
  - c) Aquella puesta a un lado de la dimensión
  - d) Una variación en la dirección positiva o negativa de una dimensión especificada



8. ¿Cuál es la condición de material máximo de la característica mostrada? \_\_\_\_\_



9. ¿Cuál es la condición de material máximo de la característica mostrada? \_\_\_\_\_



10. Un ejemplo de condición de material máximo es
- El tamaño máximo de una pieza
  - El tamaño máximo de una característica interna
  - El límite superior de una característica externa
  - Todo el material de una parte
11. ¿Cuál es la condición de material mínimo de la característica mostrada en la pregunta 8? \_\_\_\_\_
12. ¿Cuál es la condición de material mínimo de la característica mostrada en la pregunta 9? \_\_\_\_\_
13. ¿Qué describe mejor una tolerancia bilateral?
- Una tolerancia establecida entre comprador y vendedor
  - Una variación en las direcciones positiva y negativa de una dimensión especificada.
  - Una tolerancia para características externas e internas
  - Aquella que permite el cambio de dimensión en dos lados



14. Mencione los tres tipos de ajuste que pueden ocurrir cuando se ensamblan piezas.

a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_ c) \_\_\_\_\_

15. Defina condición de material mínimo.

---



---

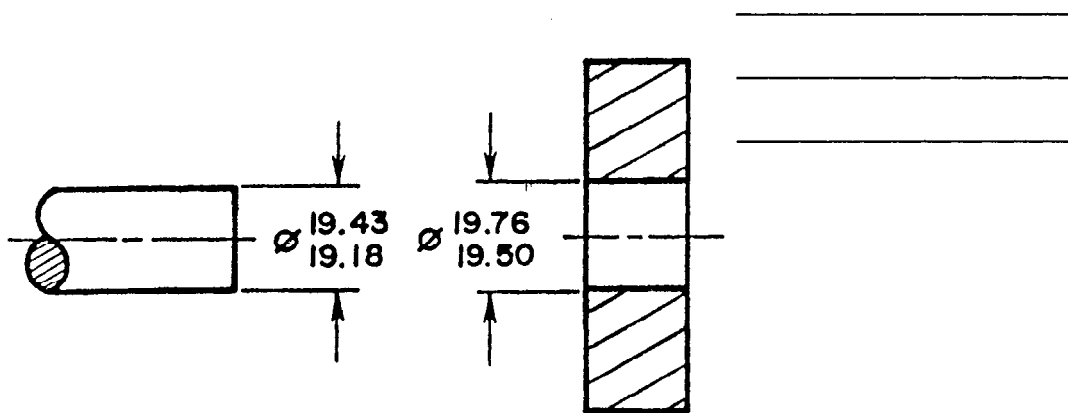


---

16. ¿Cuáles son los límites de la dimensión 80 m6?

- a) 80.000-80.011                      c) 80.013-80.035  
b) 80.011-80.030                      d) 80.011-80.035

17. Determine el juego máximo para las partes mostradas; indique sus cálculos.



18. Determine el juego mínimo para las partes mostradas en la pregunta 17. Muestre sus cálculos.

---



---



---

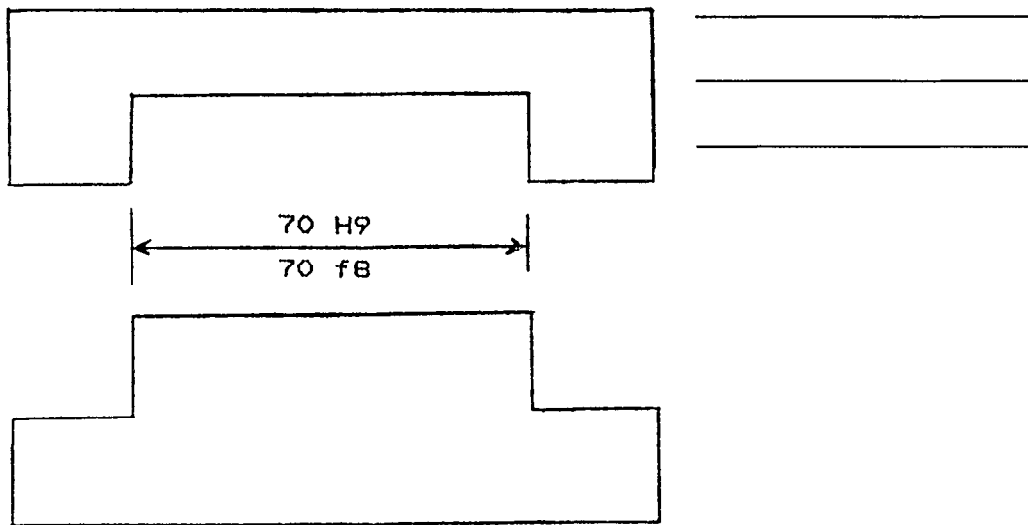
19. El tipo de ajuste que se tiene en las partes mostradas en la pregunta 17 es:

- a) Exacto                                      c) De transición  
b) Con juego                                  d) Por contracción





20. Determinar el juego máximo para las partes mostradas; indique sus cálculos.



21. Determine el juego mínimo para las partes mostradas en la pregunta 20; indique sus cálculos.

---



---

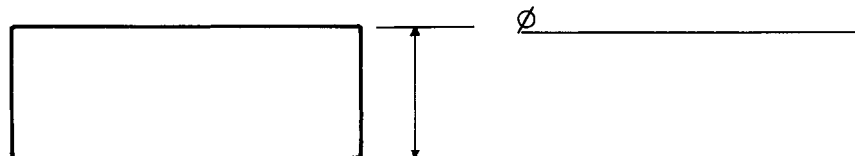


---

22. El tipo de ajuste que se tiene en las partes mostradas en la pregunta 20 es:

- |              |                  |
|--------------|------------------|
| a) Con juego | c) Indeterminado |
| b) Forzado   | d) Exacto        |

23. Dimensione la característica mostrada utilizando el dimensionamiento límite.



24. Menciona dos tipos de características externas.

---



---

25. ¿Cuál de las siguientes sería una característica de tamaño?
- a) Un agujero                      c) Ambas  
b) Una superficie plana        d) Ninguna
26. Cuando sólo se especifica una tolerancia de tamaño, ésta controla variaciones en su forma geométrica así como en su tamaño dentro de los límites establecidos.
- a) Cierto                              b) Falso                              c) No se sabe
27. Cuando el tamaño real de una característica se aleja de su condición de material máximo hacia la de material mínimo, una variación en forma es permitida igual a la cantidad de tal alejamiento.
- a) Cierto                              b) Falso                              c) No se sabe
28. La base para las respuestas de las preguntas 26 y 27 es:
- a) No se sabe                      b) La interpretación de los límites de tamaño  
c) Los errores extremos de forma                      d) La lógica
29. En el sistema ISO las desviaciones para agujeros difieren de las de los pernos sólo en los signos
- a) Cierto    b) Falso?
30. ¿Cuál es la tolerancia de la dimensión 30 h6?
- 
31. Los calibres con dimensión fija pueden ser utilizados para:
- a) Inspección Pasa-No pasa  
b) Puesta a cero de instrumentos  
c) Calibración de instrumentos  
d) Todo lo anterior  
e) Solo b y c
32. Los calibres con dimensión fija proporcionan datos tipo:
- a) Variables  
b) Atributos  
c) Variables y atributos  
d) Ninguno de los anteriores
33. La inspección confiable con calibres de dimensión fija depende en gran medida de:
- a) La exactitud del calibre  
b) El tipo de calibre  
c) El material del calibre  
d) La habilidad y experiencia del inspector

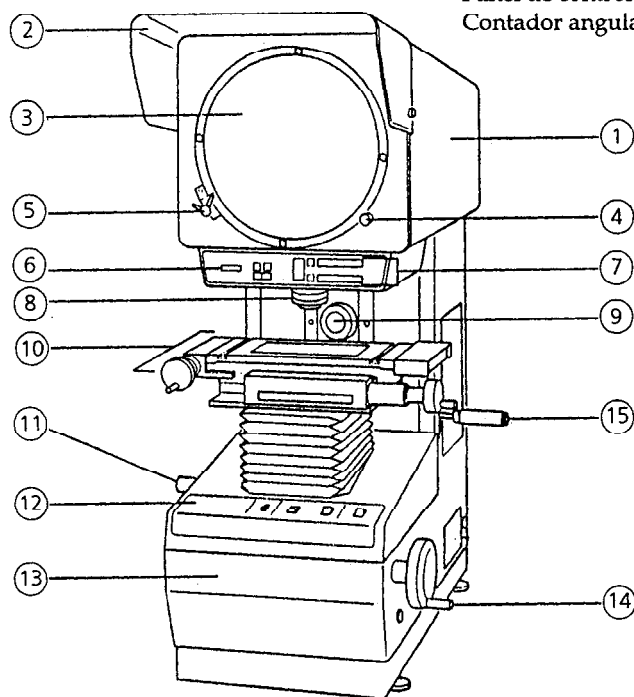
34. Los calibres con dimensión fija pueden ser utilizados para inspeccionar:
- a) Distancias
  - b) Diámetros
  - c) Dimensiones múltiples
  - d) Todo lo anterior
  - e) Solo a y b
35. Una ventaja del calibre progresivo sobre el reversible es que requiere menos:
- a) Tiempo de inspección
  - b) Habilidad
  - c) Material
  - d) Cuidado
36. La dimensión del calibre pasa corresponde a la:
- a) Condición de material máximo de la pieza a inspeccionar
  - b) Condición de material mínimo de la pieza a inspeccionar
  - c) La condición virtual de la pieza a inspeccionar
  - d) La dimensión especificada de la pieza a inspeccionar
37. La dimensión del calibre no pasa corresponde a la:
- a) Condición de material máximo de la pieza por inspeccionar
  - b) Condición de material mínimo de la pieza por inspeccionar
  - c) La condición virtual de la pieza por inspeccionar
  - d) La dimensión especificada de la pieza por inspeccionar
38. El término ajustable en un calibre se refiere a la posibilidad de:
- a) Realizar mediciones variables
  - b) Modificar el rango de medición
  - c) Modificar las dimensiones Pasa-No pasa
  - d) Determinar el tipo de ajuste en piezas ensamblantes
39. Los calibres ajustables pueden ser utilizados como progresivos:
- a) Cierto
  - b) Falso
  - c) Solo algunos
40. El término reversible en un calibre se refiere a:
- a) La posibilidad de inspeccionar una pieza por ambos lados
  - b) La posibilidad de intercambiar los lados Pasa y No pasa
  - c) La necesidad de medir en dos direcciones
  - d) La necesidad de hacer la inspección en dos pasos.

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 16

## Comparadores ópticos

1. Identifique las partes indicadas en el comparador óptico mostrado en la figura.

- |    |       |                                      |
|----|-------|--------------------------------------|
| 1  | _____ | Cabezal de proyector                 |
| 2  | _____ | Perilla para fijado de la pantalla   |
| 3  | _____ | Cubierta                             |
| 4  | _____ | Palanca para movimiento vertical     |
| 5  | _____ | del iluminador de superficie         |
| 6  | _____ | Pantalla de proyección               |
| 7  | _____ | Manivela para enfocar                |
| 8  | _____ | Perilla para rotación de la pantalla |
| 9  | _____ | Iluminador de contorno (interior)    |
| 10 | _____ | Iluminador de superficie             |
| 11 | _____ | Platina                              |
| 12 | _____ | Lente de proyección                  |
| 13 | _____ | Contador XY                          |
| 14 | _____ | Palanca de lente condensador         |
| 15 | _____ | para iluminador de superficie        |
|    |       | Panel de control                     |
|    |       | Contador angular                     |



2. ¿A qué tipo de iluminación corresponde el comparador óptico mostrado en la figura de la pregunta 1?

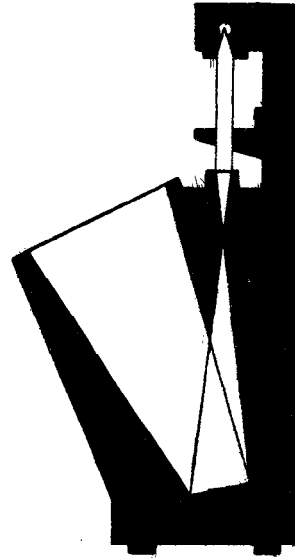
---

3. ¿A qué tipo de iluminación corresponde la trayectoria de luz mostrada en la figura de la derecha?

---

4. ¿La trayectoria de luz mostrada en la figura de la derecha corresponde a iluminación de superficie o de contorno?

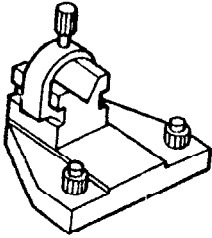
---



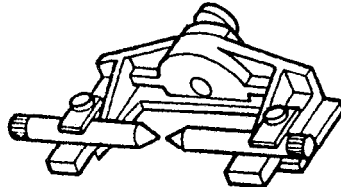
5. ¿Cuál es la ventaja más importante que se obtiene de la posibilidad de que más de una persona pueda observar la parte que muestra la pantalla?
- Si una persona abandona la empresa otra podría testificar lo que observó
  - Eliminaría los problemas de agudeza visual
  - Pueden señalarse características críticas para evitar malinterpretaciones
  - Descubriría problemas de agudeza visual
6. ¿Qué tipo de comparador óptico sería más adecuado para medir piezas delgadas de material fácilmente deformable?
- Iluminación horizontal
  - Iluminación angular
  - Iluminación vertical
  - Ninguno de los anteriores
7. Para la inspección de piezas pequeñas con numerosas dimensiones, individuales o relacionadas entre sí, todas contenidas en un solo plano observacional.
- Se requieren varios instrumentos
  - Es suficiente el comparador óptico
  - Se requiere mucho tiempo
  - Ninguno de los anteriores
8. Podrían realizar mediciones directas sobre la pantalla de un comparador óptico utilizando:
- |                      |   |
|----------------------|---|
| a) Una cinta métrica | c) Varios instrumentos de medición            |
| b) Un patrón angular | d) Reglas de vidrio y transportador de dibujo |

9. Identifique cada uno de los siguientes accesorios; anote el nombre de ellos en la parte inferior de cada figura.

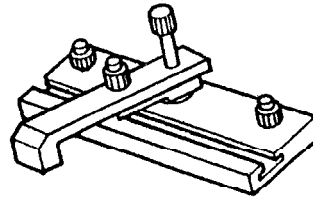
Lente de proyección, microprocesador, cabeza micrométrica, platina, contador, block V con tornillo de sujeción, base goniométrica, grapa, pantalla, espejo semitransparente, puntos.



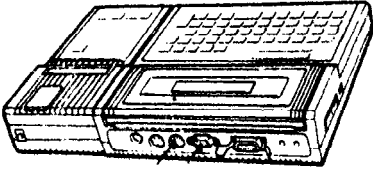
a. \_\_\_\_\_



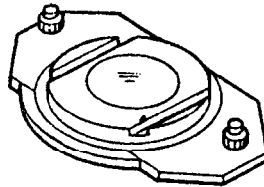
b. \_\_\_\_\_



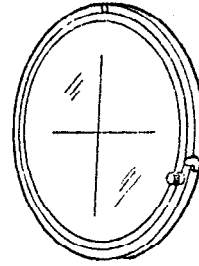
c. \_\_\_\_\_



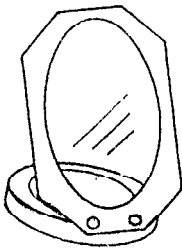
d. \_\_\_\_\_



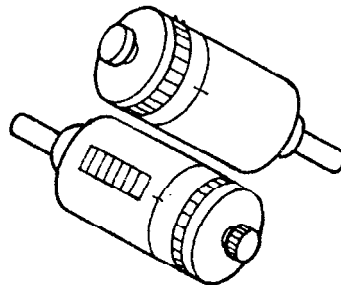
e. \_\_\_\_\_



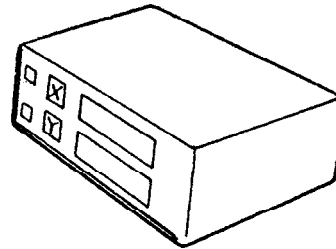
f. \_\_\_\_\_



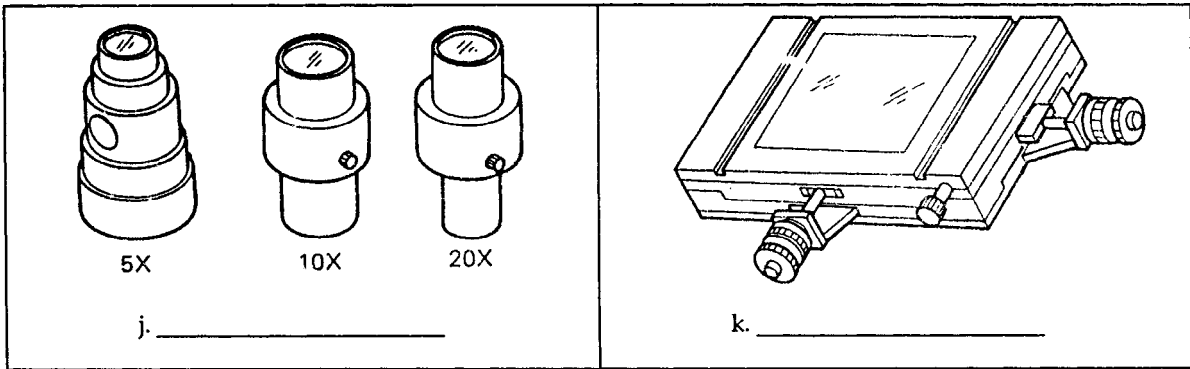
g. \_\_\_\_\_



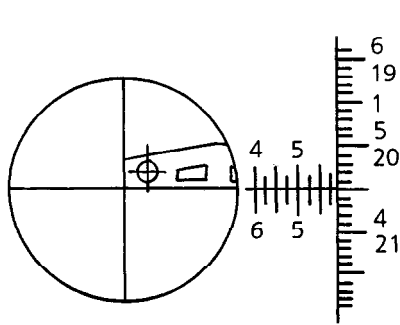
h. \_\_\_\_\_



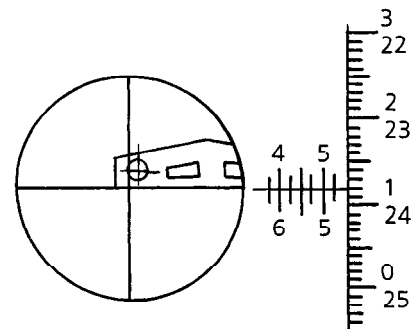
i. \_\_\_\_\_



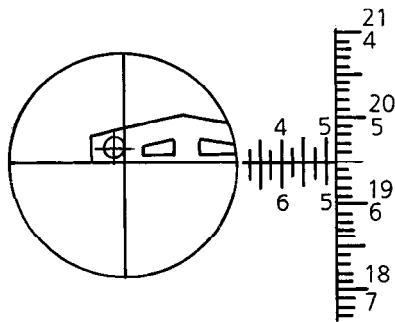
10. Las siguientes figuras muestran, a la izquierda, la imagen de una pieza en diferentes posiciones sobre la pantalla de un comparador, y a la derecha se ilustra la lectura correspondiente sobre una cabeza micrométrica convencional. Indique en la parte inferior la lectura correspondiente.



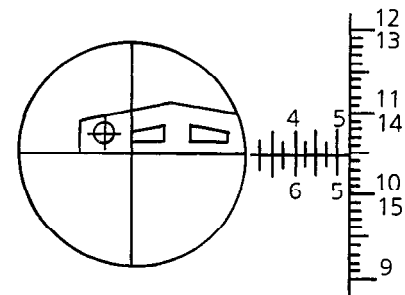
a. \_\_\_\_\_



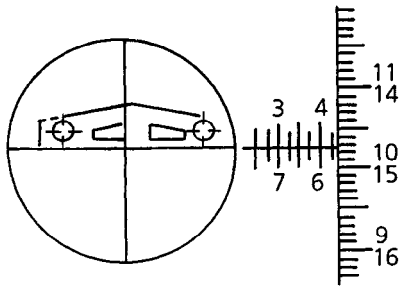
b. \_\_\_\_\_



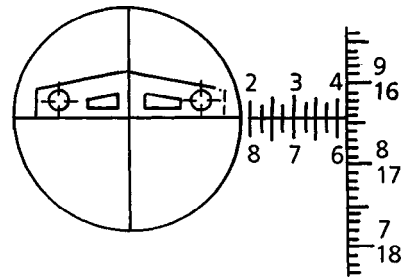
c. \_\_\_\_\_



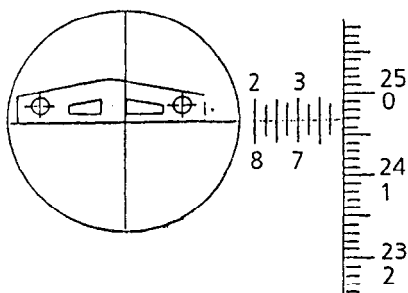
d. \_\_\_\_\_



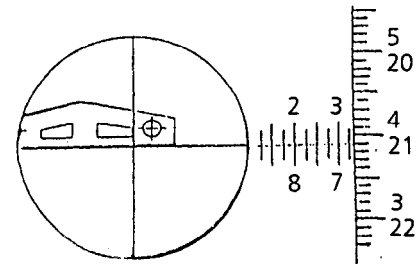
e. \_\_\_\_\_



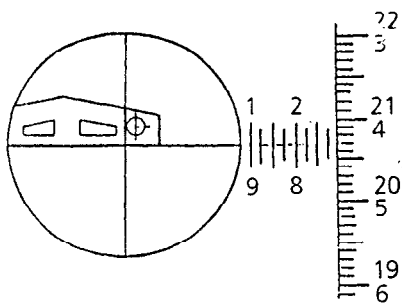
f. \_\_\_\_\_



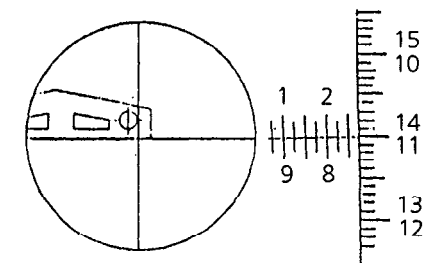
g. \_\_\_\_\_



h. \_\_\_\_\_

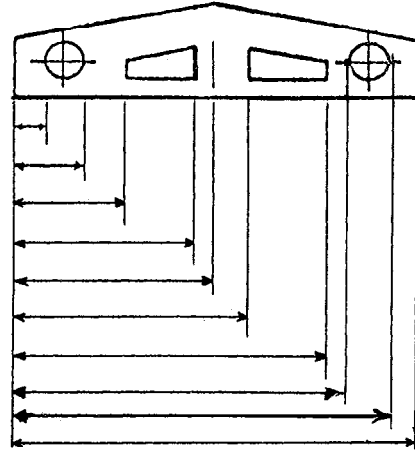
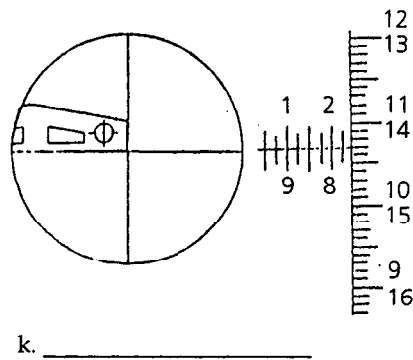


i. \_\_\_\_\_



j. \_\_\_\_\_





11. Con base en las lecturas obtenidas del problema anterior, anote las dimensiones mostradas en la figura de la derecha.

12. El principal factor que determina la exactitud de las mediciones hechas con un comparador óptico es:

- |                     |                               |
|---------------------|-------------------------------|
| a) La amplificación | c) La habilidad del operador  |
| b) El enfoque       | d) El diámetro de la pantalla |

13. La cabeza micrométrica empuja a la platina en el avance; indique qué es lo que permite el retroceso de la misma.

- |                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| a) Un mecanismo sofisticado | c) Un motor |
| b) Una palanca              | d) Resortes |

14. Algunas platinas pueden girar de 10 a 15 grados el desplazamiento de los ejes X y Y, eso permite medir:

- |                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| a) Ángulos                        | c) Engranes       |
| b) Piezas con partes helicoidales | d) Piezas cónicas |



15. El diámetro del campo visual puede determinarse dividiendo el diámetro de la pantalla entre la amplificación del lente de proyección; con la información anterior complete la siguiente tabla:

Amplificación del lente de proyección	Diámetro del campo visual, pantalla de 150 mm	Diámetro del campo visual, pantalla de 600 mm
5 X		
10 X		
50 X		
100 X		

16. El campo visual se refiere a:
- El resultado de una operación aritmética
  - El diámetro de la pantalla
  - La porción de una pieza que puede observarse
  - La amplificación del lente de proyección
17. La inspección de partes internas con un comparador óptico:
- Requiere iluminación especial
  - No puede hacerse
  - Es común
  - Requiere hacer modelos y es laboriosa
18. El movimiento de enfoque se logra mediante:
- Un tornillo
  - Un resorte
  - Una palanca
  - Un mecanismo automático
19. La medición en el eje Z con un comparador óptico:
- No puede hacerse
  - Requiere un indicador
  - Requiere experiencia
  - Se basa en el enfoque
  - b y d
20. La superficie observada en un comparador óptico debe quedar
- Nivelada
  - Perpendicular al eje de lente de proyección
  - Alineada con el sistema de iluminación
  - Paralela a la platina



## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 17

# Metrología superficial

1. Considerando el orden de magnitud, el inciso correcto es:
  - a) Errores de forma, variación dimensional, rugosidad y ondulación
  - b) Rugosidad, errores de forma, ondulación y variación dimensional
  - c) Variación dimensional, errores de forma, ondulación y rugosidad
  - d) Ondulación, errores de forma, rugosidad y variación dimensional
2. La metrología superficial ha cobrado importancia debido a:
  - a) Que los instrumentos electrónicos facilitan su evaluación
  - b) Que se requiere personal con poca experiencia
  - c) La necesidad de mayor confiabilidad
  - d) La fabricación en serie de piezas complejas
3. ¿Cuál de las siguientes superficies es la mejor?
  - a) Una con una rugosidad de  $0.01 \mu\text{m Ra}$
  - b) Una superficie perfectamente lapeada
  - c) Una superficie sin ondulación
  - d) Una con una rugosidad cercana pero inferior al valor especificado
4. ¿Cuál es la principal norma estadounidense sobre el acabado superficial?
  - a) ANSI/ASME B46.1-1985
  - b) ANSI Y 14.36-1978
  - c) BS 1134 PARTE 1:1988
  - d) E 05/015-1984
5. Por lo general, ¿qué ocurre si se realiza una medición de rugosidad en una orientación diferente con respecto a las marcas de maquinado?
  - a) La lectura aumenta
  - b) La lectura disminuye
  - c) La lectura permanece igual
  - d) La lectura varía
  - e) Todo lo anterior

6. Por lo general, ¿qué ocurre si se realiza una medición de rugosidad con un valor diferente de *cut-off*?
  - a) La lectura aumenta
  - b) La lectura disminuye
  - c) La lectura permanece igual
  - d) La lectura varía
7. ¿Qué términos pueden considerarse como equivalentes en la práctica?
  - a) Ondulación y rugosidad
  - b) *Cut off* y longitud de muestreo
  - c) Longitud de muestreo y longitud de evaluación
  - d) *Cut off* y longitud de recorrido
8. Comúnmente, ¿cuántas longitudes de muestreo se utilizan como longitud de evaluación?
  - a) 1
  - b) 3
  - c) 5
  - d) Depende de la aplicación
9. Por lo general, ¿qué ocurre si se realiza una medición de rugosidad utilizando diferente número de longitudes de muestreo como longitud de evaluación?
  - a) La lectura varía
  - b) La lectura aumenta
  - c) La lectura permanece igual
  - d) La lectura disminuye
10. En los actuales rugosímetros portátiles la amplificación de la gráfica de rugosidad es:
  - a) Fijada por el operador
  - b) Ajustada por la aplicación
  - c) Fijada automáticamente
  - d) Fijada de acuerdo con una norma
11. Los valores normalizados de la longitud de muestreo son:
  - a) 1, 2, 4, 8, 16, 32, 63 y 125  $\mu$ pulg
  - b) .003, .010, .030, .100 y .300 pulg
  - c) 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 y 3.2  $\mu$ m
  - d) 0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8 y 25 mm
  - e) b y d anteriores
12. Una lectura de 0.4  $\mu$ m Ra equivale a:
  - a) 0.8  $\mu$  R<sub>máx</sub>
  - b) 0.75  $\mu$ m R<sub>z</sub>
  - c) .030  $\mu$ pulg Ra
  - d) 0.25  $\mu$ m R<sub>y</sub>
  - e) Ninguno de los anteriores

13. ¿Por qué han proliferado los parámetros de medición de la rugosidad?
- Aplicaciones específicas requieren parámetros específicos
  - Entre más parámetros se tienen mejor se evalúa el acabado superficial
  - Son más confiables que  $R_a$
  - Diferentes países utilizan diferentes parámetros
14. En la actualidad la tendencia es:
- Sólo especificar  $R_a$
  - Especificar  $R_a$  y otro parámetro
  - Especificar varios parámetros
  - Sólo especificar  $R_z$
15. Según están definidos los parámetros, puede ocurrir que:
- $R_t$  sea igual a  $R_{\max}$
  - $R_a$  sea igual a  $P_c$
  - HSC sea igual a  $R_y$
  - $S$  sea igual a  $t_p$
16.  $R_{\max}$  es lo mismo que
- $R_{pm}$
  - $R_x$
  - $R_y$
  - $R_z$
17. ¿Cuáles de los siguientes parámetros se refieren a distancias verticales?
- $\theta_a$ ,  $t_p$
  - $S$ ,  $S_m$
  - $R_y$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_{3z}$
  - $P_c$ , HSC
18. ¿Cuáles de los siguientes parámetros se refieren a distancias horizontales?
- $\theta_a$ ,  $t_p$
  - $S$ ,  $S_m$
  - $R_y$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_{3z}$
  - $P_c$ , HSC
19. RMS es lo mismo que:
- $R_p$
  - $R_z$
  - $R_{3z}$
  - $R_q$

20. ¿Cuáles de los siguientes parámetros se expresan como número de picos por unidad de longitud?
- a)  $\theta_a$ ,  $t_p$
  - b)  $S$ ,  $S_m$
  - c)  $R_y$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_{3z}$
  - d)  $P_c$ , HSC
21. La determinación de qué parámetro arroja como resultado dos series de valores en porcentaje.
- a)  $t_p$
  - b)  $\theta_a$
  - c)  $S$
  - d)  $S_m$
22. La determinación de qué parámetro origina la curva de área de contacto.
- a)  $t_p$
  - b)  $\theta_a$
  - c)  $S$
  - d)  $S_m$
23. ¿Cómo indicaría en un dibujo que se desea una rugosidad de  $0.8 \mu\text{m } R_z$  (DIN) con un valor de *cut-off* de 2.5 mm?



24. En relación con la pregunta anterior, ¿cómo realizaría la medición?
- a) Perpendicular a las marcas
  - b) Paralelo a las marcas
  - c) A 45° con respecto a las marcas
  - d) En cualquier dirección
  - e) Habría que preguntar
25. Existe una familia de parámetros denominada  $R_k$  ( $R_{pk}$ ,  $R_k$ ,  $R_{vk}$ )
- a) Cierto
  - b) Falso
  - c) No se sabe

26. ¿Cuál de los siguientes símbolos representa al *cut-off*?
- a)  $l_e$
  - b)  $l_m$
  - c)  $\lambda_c$
  - d)  $\Delta f$
27. ¿Cuál de los siguientes parámetros es definido en forma diferente en la norma DIN : como es definido en la norma ISO?
- a)  $R_z$
  - b)  $R_a$
  - c)  $R_q$
  - d)  $R_{3z}$
28. ¿Cuál es la finalidad de utilizar los grados de rugosidad N1 a N12?
- a) Evitar confusión entre milímetros y pulgadas
  - b) Utilizar simbología normalizada
  - c) Es más compacto y ahorra espacio
  - d) Que todo mundo lo entienda
29. CLA es lo mismo que:
- a)  $R_y$
  - b)  $R_a$
  - c)  $R_q$
  - d) AA
  - e)  $R_a$  y AA

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 18

## Calibres de verificación neumáticos

1. En un circuito neumático de medición es fundamental:
  - a) El bloque patrón y la distancia de la boquilla sobre éste
  - b) Que la boquilla esté perpendicular al bloque
  - c) El flujo controlado del aire
  - d) Todas las anteriores
2. La medición de flujo por medio de arrastre se lleva a cabo con un dispositivo llamado
  - a) Acuómetro
  - b) Flexómetro
  - c) Rotámetro
  - d) Heliómetro
3. El rango de exactitud en pulgadas de los circuitos de medición neumática de sistemas balanceados es de:
  - a) 0.000005" a 0.0001"
  - b) 0.0005" a 0.001"
  - c) 0.005" a 0.100"
  - d) 0.50000" a 0.100000"
4. El rango de medición del sistema balanceado neumático es de:
  - a) 0.006" a 0.008"
  - b) 0.0003" a 0.006"
  - c) 0.3000" a 0.600"
  - d) 0.03000" a 0.060"
5. La parte interior del rotámetro tiene forma
  - a) Cuadrada
  - b) Cilíndrica
  - c) Cónica
  - d) Esférica



6. Las aplicaciones especiales de toberas simples y combinadas en los sistemas de medición neumática son:
- a) Todas las que siguen
  - b) Diámetro, diámetro promedio, diámetro compensación de ovalamiento
  - c) Espesor y altura, curvatura, conicidad
  - d) Distancia entre ejes

**EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 19****Instrumentos de medición de presión**

1. El manómetro de tubo de Bourdon se basa en la flexión del tubo al que se le aplica presión interna y tiene forma de:
  - a) A
  - b) B
  - c) C
  - d) D
2. La unidad referida en la escala de los manómetros es:
  - a) Minipascales (mifa)
  - b) Milipascales (mPa)
  - c) Megapascales (MPa)
  - d) Metropascales (Me Pa)
3. El manómetro que permite la comparación de dos posiciones de hasta 0.25 Pa es el:
  - a) Axial
  - b) Diferencial
  - c) Funcional
  - d) Interactual

## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 20

# Termómetros

1. Debido a su principal efecto, los termómetros son:
  - a) Internos y externos
  - b) Opuestos y compuestos
  - c) Mecánicos y eléctricos
  - d) Químicos y físicos
2. Los dos líquidos que más se usan en los termómetros de vidrio son:
  - a) Plástico y amoníaco
  - b) Alcohol y mercurio
  - c) Agua y gasolina
  - d) Ninguno de los anteriores
3. El valor que se obtiene al sustraer el valor real de temperatura del valor indicado del termómetro es el error de:
  - a) Construcción
  - b) Interferencia
  - c) Tiempo
  - d) Escala
4. Las marcas de las subdivisiones en  $^{\circ}\text{C}$  para todos los termómetros desde  $-30$  hasta  $360^{\circ}\text{C}$  en todas las clases de termómetros (los de menor graduación) son de:
  - a)  $1^{\circ}\text{C}$
  - b)  $.1^{\circ}\text{C}$
  - c)  $.01^{\circ}\text{C}$
  - d)  $.001^{\circ}\text{C}$
5. El gas de relleno que debe quedar sobre el líquido sensitivo debe ser:
  - a) Volátil y pesado
  - b) Seco e inerte
  - c) Húmedo y activo
  - d) Denso e inflamable
6. El termómetro de efecto mecánico bimetalico opera en un rango de  $-50$  hasta:
  - a)  $50^{\circ}\text{C}$
  - b)  $500^{\circ}\text{C}$
  - c)  $5000^{\circ}\text{C}$
  - d)  $5^{\circ}\text{C}$



## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 21

## Torquímetro y freno de Prony

1. Uno de los efectos de una carga torsional aplicada a una barra son:
  - a) Doblar la barra
  - b) Mantenerla recta
  - c) Formarla circularmente
  - d) Impartir un desplazamiento angular en la sección transversal de un extremo con respecto al otro.
2. La suma algebraica de momentos de los pares aplicados a una barra es el:
  - a) Momento cortante
  - b) Momento único
  - c) Momento múltiple
  - d) Momento de torsión
3.  $S_s = \frac{T_p}{J}$  representa al:
  - a) Esfuerzo cortante torsional
  - b) Esfuerzo momentáneo
  - c) Esfuerzo reactivo
  - d) Esfuerzo algebraico
4. El módulo cortante de elasticidad  $G$  se calcula con la fórmula:
  - a)  $G = mc^2$
  - b)  $G = S_s/\gamma$
  - c)  $G = S_s/S_i$
  - d)  $G = S_s/2$
5. El freno de Prony se usa para medir:
  - a) La distancia en que frena un automóvil
  - b) El momento de torsión y la disipación de potencia
  - c) Las revoluciones por minuto
  - d) Las revoluciones por segundo

6. Llamamos "Strain Gages" a los:
  - a) Medidores de deformación con resistencia eléctrica
  - b) Medidores de avance
  - c) Medidores de volumen
  - d) Medidores de atributos
7. El níquel es uno de los materiales de los "Strain gages" que se usa:
  - a) Más
  - b) Menos
  - c) En mínimas cantidades
  - d) Nunca



## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 22

## Mediciones eléctricas

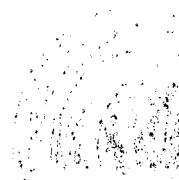
1. El galvanómetro es el instrumento que se usa como base de los aparatos de medición:
  - a) Mecánicos
  - b) Eléctricos
  - c) Químicos
  - d) Ópticos
2. Un imán y una bobina móvil son las partes fundamentales de un:
  - a) Higrómetro
  - b) Estadímetro
  - c) Galvanómetro
  - d) Telémetro
3. El efecto electromagnético  $F = NBiL$  es el del:
  - a) Galvanómetro Newton
  - b) Galvanómetro D'Arsonval
  - c) Higrómetro D'Arsonval
  - d) Telescopio D'Arsonval
4. Los galvanómetros de hierro móvil son, según sus principios:
  - a) Agudos, rectos y obtusos
  - b) Paralelos, quebrados y rectos
  - c) Paleta radial, álabes concéntricos y de émbolo
  - d) Radial, apotema y secante
5. Tres partes del galvanómetro son:
  - a) Imán permanente, bobina móvil y aguja indicadora
  - b) Imán corto, rayo sensor y rayo marcador
  - c) Elemento vibrante, elemento calórico, elemento magnético
  - d) Aguja, hilo y martinete



6. La fuerza magnética hace posible la operación de:
- a) La inercia
  - b) Motores, generadores, instrumentos de medición eléctrica, equipos de comunicación, etcétera.
  - c) La intensidad luminosa
  - d) La anestesia
7. Los materiales llamados magnéticos son:
- a) Hierro, níquel, algunos óxidos y aleaciones
  - b) Cobre, latón y aluminio
  - c) Plástico, PVC, cerámica
  - d) Hule, yeso y cemento
8. Cuando se golpea o calienta un imán
- a) Aumenta la fuerza magnética
  - b) Aumentan las líneas de fuerza
  - c) Pierde su imantación
  - d) Se ordenan sus moléculas
9. Un imán tiene las polaridades
- a) Norte, sur, este y oeste
  - b) Este y oeste
  - c) Norte y sur
  - d) Ninguna de las anteriores
10. Hay imanes de dos tipos:
- a) Fuertes y extrafuertes
  - b) Débiles y normales
  - c) Permanentes y temporales
  - d) Los incluidos sólo en *a* y *b*
11. La aleación llamada alnico contiene:
- a) Almidón, nitrato y colorante
  - b) Alcohol, nitrito y coliformes
  - c) Aluminio, níquel y cobalto
  - d) Todos los anteriores
12. La ferrita es:
- a) Fierro dulce con fierro gris
  - b) Una mezcla de óxidos de hierro, magnesio, cobalto, níquel, cobre o zinc, prensados y horneados
  - c) Fierro dulce con fierro gris, prensados y horneados
  - d) Ninguno de los anteriores



13. La corriente, el campo magnético y su dirección en un alambre siguen la regla de:
- a) La mano izquierda
  - b) La mano derecha
  - c) La del índice y pulgar
  - d) La regla de Newston
14. En el sistema métrico el término gauss equivale a:
- a) Líneas por alambre
  - b) Líneas por espira
  - c) Líneas por cm cuadrado
  - d) Líneas envolventes
15. Las bobinas móviles de los instrumentos de medición eléctrica deben ser:
- a) Pesadas como el imán
  - b) Lo más ligeras posible
  - c) Conectadas totalmente a tierra
  - d) Abiertas al circuito eléctrico
16. La aguja de los instrumentos eléctricos indica siempre:
- a) Polaridad positiva
  - b) Polaridad negativa
  - c) Polaridad neutra
  - d) La cantidad de corriente eléctrica en el galvanómetro
17. Las escalas de los diferentes instrumentos eléctricos son de los tipos:
- a) Circulares y rectas
  - b) Lineales y no-lineales
  - c) Cuadradas y rómbicas
  - d) Elípticas y semicirculares
18. Para evitar la fricción en los galvanómetros se usan:
- a) Resortes de alta tensión
  - b) Pivotes de rubí sintético
  - c) Pernos cromados
  - d) Ninguno de los anteriores
19. Los pernos en la carátula de los galvanómetros son para:
- a) Limitar el viaje de la aguja
  - b) Proporcionar mayor resistencia contra los choques
  - c) Conferirles mayor resistencia al manejo
  - d) Proporcionarles mayor precisión y exactitud





20. La calibración con ajuste a cero en un óhmetro se lleva a cabo con un:

- a) Tornillo
- b) Interruptor
- c) Palanca
- d) Botón

21. La Ley de Ohm relaciona a las variables:

- a)  $I, E, R$
- b)  $V, P, \theta$
- c)  $\alpha, \beta, \gamma$
- d)  $a, b$  y  $c$

22.  $I$  representa:

- a) La corriente en amperes
- b) La potencia en watts
- c) La ganancia en dB
- d) El atraso en  $\alpha$

23. La unidad de resistencia eléctrica es el:

- a) mho
- b)  $\varphi$
- c) ohm
- d) gomor

24. La unidad de voltaje o diferencia de potencial es el:

- a) Vatio
- b) Voltio
- c) Vanadio
- d) Voltajio

25. La unidad de potencia, el watt, queda definido por el producto:

- a)  $E \times I$
- b)  $I^2 \times R$
- c)  $E \times A$
- d)  $a$  y  $b$



## EJERCICIOS DEL CAPÍTULO 23

**Sistema Internacional de Unidades (SI)**

1. SI significa:
  - a) Standar International
  - b) Sistema Individual
  - c) Símbolo Internacional de Unidades
  - d) Sistema Internacional de Unidades
2. El símbolo K significa:
  - a) Kilogramo
  - b) Kilómetro
  - c) Kilolitro
  - d) Kelvin (temperatura termodinámica)
3. El símbolo S significa:
  - a) Serie
  - b) Sistema
  - c) Segundo
  - d) Standard
4. El símbolo Kg significa
  - a) Kilogramo
  - b) Kilogrametro
  - c) Kilógrafo
  - d) Todos los anteriores
5. La unidad de longitud del SI es el:
  - a) Metro
  - b) Centímetro
  - c) Milímetro
  - d) Ninguno de los anteriores
6. La intensidad de corriente eléctrica tiene una unidad y símbolo:
  - a) Galvano, G
  - b) Volta, V
  - c) Ampere, A
  - d) Gauss, G

7. La intensidad luminosa se mide en, y su símbolo es:
- a) Luxes, lux
  - b) Focos, fox
  - c) Candela, cd
  - d) Soles, sol
8. La velocidad en el SI se define como:
- a) mm/x
  - b) mm/d
  - c) m/mm
  - d) m/s
9. La fuerza como definición  $\text{Kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$  tiene una unidad llamada:
- a) Neutro
  - b) Norma
  - c) Newton
  - d) Neutrón
10. La presión expresada como  $\text{N}/\text{m}^2$  tiene una unidad y símbolo:
- a) Pascal, Pa
  - b) Ampere, A
  - c) Kilogramo, kg
  - d) Litro, l
11. La resistencia eléctrica definida como  $\text{V}/\text{A}$  y símbolo  $\Omega$  tiene una unidad llamada:
- a) RAM
  - b) Ohm
  - c) Volt
  - d) Watt
12. Para formar un múltiplo del SI que exprese un millón de unidades se utiliza el símbolo:
- a) K
  - b) G
  - c) m
  - d) M
13. Un submúltiplo del SI que represente la millonésima parte tiene un símbolo:
- a) m
  - b) M
  - c) mm
  - d)  $\mu$



14. Para convertir pulgadas a milímetros se multiplica por:
- a) 0.0254
  - b) 25.4
  - c) .00254
  - d) Ninguna de las anteriores
15. Para convertir de milímetros a pulgadas se divide entre:
- a) 25.4
  - b) 0.0254
  - c) 2.54
  - d) 254
16. Para convertir °C a °F se usa la fórmula:
- a)  $(^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32$
  - b)  $(^{\circ}\text{C} \times 5/9) + 32$
  - c)  $(^{\circ}\text{C} \times 1/9) + 32$
  - d)  $(^{\circ}\text{C} \times 1/5) + 32$
17. Para convertir °F a °C se usa la fórmula:
- a)  $(^{\circ}\text{F} - 32) \times 9/5$
  - b)  $(^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9$
  - c)  $(^{\circ}\text{F} + 32) \times 9/5$
  - d)  $(^{\circ}\text{F} + 32) \times 5/9$
18. Para convertir °C a Kelvin se usa la fórmula
- a)  $^{\circ}\text{C} - 273.1$
  - b)  $^{\circ}\text{C} + 273.1$
  - c)  $^{\circ}\text{C} \times 273.1$
  - d)  $^{\circ}\text{C} \div 273.1$
19. El trabajo tiene las dimensiones de un producto de fuerza multiplicada por la distancia. ¿Cuál es la unidad del SI?
- a) lbf · ft
  - b) din · cm
  - c) N · m
  - d) Kgf · m
  - e) Joule
20. El watt cuya definición es J/S es la unidad de:
- a) Superficie
  - b) Volumen
  - c) Aceleración de electrones
  - d) Potencia





# Índice

## A

- Abbe, Ernest, 104
- Abbe, ley de, 59
- Abbe, principio de, 104
- Abbe, principio de micrómetro, 205
- Agno, 2
- Agudeza visual, 109
- Airy, puntos, 58
- Ajuste:
  - con juego, 392
    - para localización, LC, 393
  - de interferencia para localización, LN, 393
  - de transición con juego o interferencia, LT, 393
  - deslizante con juego, RC, 393
  - forzado, 392
  - forzado o por contracción, FN, 393
  - indeterminado, 392
  - juego máximo, 390
  - juego mínimo, 390
- Ajustes y tolerancias:
  - el Sistema Americano, 393
  - la Norma ISO 286, 393
- Ampere, 522
- Ampère, André Marie, 21
- Amperímetros, 502
- Ángulo, 365
- Anillos:
  - patrón cilindridad, Norma DIN 7151, 398
  - patrón Norma DIN 13, 398
  - patrón Norma DIN 2260, 398
  - patrón Norma DIN 7163, 398
- Antiguo testamento, 1, 3
  - medidas de capacidad, 3
    - para áridos, 3
      - efa, 3
      - gomer, 3
      - homer, 3

- seah, 3
  - para líquidos:
    - bato, 4
    - coro, 4
    - hin, 4
    - log, 4
  - medidas lineales, 3
    - caña, 3
    - codo, 3
    - palmo, 3
    - palmo menor, 3
  - pesos y monedas, 3
    - gera, 3
    - libra de plata, 3
    - talento, 3
  - Tiempo, 4
  - Tiempo vigilia, 4
  - Aristóteles, 9, 10
  - Arquímedes, 11
  - Arroba, 2
- ## B
- Batería tipo botón tipo SR44, 256
  - Bernoulli, Daniel, 19
  - Bernoulli, Jacob, 19
  - Bernoulli, Johann, 19
  - Bessel, puntos, 58
  - Bloques patrón, 315
    - acabado superficial de las caras de medición, 325
  - accesorios, 341
    - bases para soportes, 341
    - limitador plano tipo A y tipo B, 341
    - limitador semicilíndrico, 341
    - punta de control, 341
    - punta para trazar, 341
    - regla de tres cantos, 341
    - soportes, 341

adherencia, 327  
 austenita residual, 326  
 BS 888-1950, 351  
 carburos no solubles, 326  
 coeficiente de expansión térmica, 326  
     de la cerámica, 349  
 cuadrados, 337, 338  
 cuidados que deben tenerse después de  
     usarlos, 334  
 de cerámica, 347  
 deformación elástica debida a fuerzas exter-  
     nas, 337  
 deformaciones debido a su propio peso, 336  
 dureza, 326  
 exactitud de los, 316  
 factores de error que afectan a los, 335  
 forma y características de los, 337  
 incertidumbre, 319, 322  
 interferometría, 324  
 interferómetro, 318  
 martensita, 326  
 medición absoluta, 316  
 medición comparativa, 316  
 Norma ANSI/ASME B89.1.9M-1984, 340  
 Norma Federal GGG-G-15c 1975, 340  
 Normas ANSI/ASME B 89.1.9M-1984, 351  
 Normas BS 4311 parte 1-1968, 351  
 Normas BS 4311 parte 2-1977, 351  
 Normas DIN 861-1980, 351  
 Normas FEDERAL SPECIFICATION  
     GGG-G 15c-1975, 351  
 Normas ISO 3650-1978, 351  
 Normas JIS B-7506-1989, 351  
 inspección periódica, 339  
 plano óptico, 324  
 plano óptico, una franja, 325  
 precaución:  
     aceite antioxidante, 328  
     guantes de algodón, 328  
     las rebabas y su eliminación, 329  
     pera de aire con brocha, 328  
     piedra de Arkansas, 329  
     plano óptico, 329  
     solvente, 328  
     tenazas, 328

precauciones durante la utilización, 328  
 precauciones papel, 328  
 procedimiento de adherencia, 330-333  
 rectangulares, 315  
 requerimientos para los, 316  
 tolerancias de paralelismo y planitud, 322,  
     323  
 trazabilidad, 319  
 unión de bloques grandes, 334  
 uso de los, 346  
 tratamiento estabilizador para, 325

Borda, Jean Charles, 18

Bosquejo histórico, 1

Bourdon, partes del manómetro de tubo de, 469

## C

Cabezas micrométricas, 185

Calibración, 54

Calibrador con vernier:

    con puntas en gancho, 97

    con puntas de cuchilla para medición en  
     ranuras, 97

    para mediciones de profundidad, 97

    para ranuras, 98

Calibrador de carátula, fuerza de medición, efec-  
 to de la, 126

Calibrador, precauciones cuándo se mida con,  
 100, 101, 102, 103

Calibrador tipo C, 91

Calibrador vernier:

    tipo CM, 84, 91

    tipo estándar, 90

    tipo M, 84, 91

    tipo M con ajuste fino, 92

    tipo M con ajuste fino, tornillo de fijación, 92

    tipo M, barra de profundidades, 91

    tipo M con freno, 92

    tipo M, medición de peldaño, 91

    tipo M, rango, 91

Calibrador vernier con punta desigual para me-  
 dir la distancia entre centros de agujeros, 96

Calibradores:

    almacenamiento, 98

    coeficiente de expansión térmica, 113

compra, 98  
 con caras de medición de carburo, 93  
 con punta de medición abatible, 94  
 con puntas largas, 94  
 de carátula, 114  
   aguja indicadora, 116  
   ajustador, 121  
   ajuste a cero, 118  
   ajuste de la fuerza de rotación del arillo, 122  
   ajuste del cursor, 123  
   causas del desplazamiento de la aguja, 119  
   con fuerza constante, 95  
   con fuerza constante, punta de medición, 95  
   graduación, 132  
   juego entre dientes, 118  
   limpieza, 128  
   Norma DIN 862, 134  
   reparación, 129  
   uso apropiado de los, 123  
   cremallera, 115  
 desgaste de las puntas de medición, 107  
 electrodigitales, 134  
   fijado a cero, 136  
   salida de datos, 135, 136  
   sensor, 136  
   velocidad de respuesta, 136  
 error causado por flexión del brazo principal, 105  
 error de Abbe, 104  
 error de paralaje, 112  
 errores de medición con, 104  
 errores en la medición de diámetros interiores, 107  
 errores inherentes a la construcción, 104  
 expansión térmica, 113  
 expansión térmica, temperatura estándar, 113  
 flexión a lo largo de la superficie graduada, 106  
 flexión a lo largo de la superficie de referencia, 105  
 fuerza de medición, 114

inspección periódica, 99  
 lectura del vernier y paralaje, 109  
 mantenimiento, 98  
 ojo humano, retina, 110  
 poder de resolución del ojo, 110  
 precauciones para utilizar, 99  
 resolución, 110  
 vernier, 83  
 vernier con puntas desiguales, 93  
 visión distinta, 110  
 Calibres:  
   angulares, 80  
   cilíndricos de dimensión fija, 396  
   de dimensión fija, 396  
   de dimensión fija DIN 2080, 5502, 55022, 471, 67999, 2235, 2230, 2238, 2231, 2250, 2254, 2269, 406  
   de dimensión fija DIN 7161, 7162, 7163, 7164, 229, 230, 234, 324, 2079, 406  
   de verificación, neumáticos, 463  
   en condición de material máximo, 396  
   en condición de material mínimo, 396  
   especiales, Norma ANSI B 47.1, 401  
   Norma DIN 7162, 398  
   Normas ANSI B47.1-1981, B89.1.6-1976 Federal Specification GGG-G-61, 407  
   Normas JIS B 7420-1980, B7421-1971, B3301-1981, 407  
   para agujeros pequeños, 77  
   telescopicos, 76  
 Caloría (cal), 528  
 Candela, 522  
 Comparadores ópticos, iluminación horizontal, 410  
 Cerámica:  
   bloques, patrón de, 347  
   coeficiente de expansión térmica, bloques patrón, 349  
 Cintas de medición, 67  
 Circuito neumático (medición), 464  
 Circuito neumático, tipos de boquilla, 466  
 Circuito, puente rectificador para medir corriente alterna, 504  
 Clase de termómetro, 476  
 Coeficientes de expansión térmica, 63, 64



**Comparadores ópticos, 409**

- cabezas micrométricas, 417
- detector de borde, 423
- espejo oblicuo, 414
- espejo semirreflejante, 411
- iluminación ascendente y descendente, 410
- iluminación vertical, 410
- lentes de proyección, 421
- medición angular, 419
- medición angular modo absoluto, 420
- microprocesador, 424
- pantalla, 415
- pantalla goniométrica, 420
- plantillas, 421
- platina, 415
- sistemas de iluminación, 411

**Compases, 76**

- divisores, 76
- exteriores, 76
- hermafroditas, 76
- interiores, 76

**Concepto de la longitud de onda, 23****Condición de material máximo (MMC), 389****Condición de material mínimo (LMC), 389****Conferencia Internacional de Pesos y Medidas, 24, 45****Control de calidad, 38****Copérnico, Nicolás, 13****Cuentahilos, 75****D****D'Alembert, Jean le Rond, 19****Data logger, 291****Data transmitter, 291****Demócrito, 6, 7****Diagrama de configuración del sistema M-SPC 294****Dimensionamiento, límite, 386****DP-1HS, 291****DP-7, 291****E****Efecto bimetalico, temperatura, 480****Efecto Faraday-Lenz, 20****Ejercicios, 581-677****del capítulo 2, Normas y normalización, 582****del capítulo 3, Metrología dimensional, 585****del capítulo 4, Sistema de unidades de medida, 587****del capítulo 5, Errores en la medición, 590****del capítulo 6, Medición con instrumentos básicos, 593****del capítulo 7, Calibradores, 597****del capítulo 8, Medidores de altura, 607****del capítulo 9, Micrómetros, 611****del capítulo 10, Indicadores, 622****del capítulo 11, Instrumentos electrodigitales, 630****del capítulo 12, Bloques patrón, 633****del capítulo 13, Superficies planas de referencia, 639****del capítulo 14, Medición angular, 641****del capítulo 15, Sistema de ajustes y tolerancias, 647****del capítulo 16, Comparadores ópticos, 653****del capítulo 17, Metrología superficial, 660****del capítulo 18, Calibres de verificación, neumáticos, 665****del capítulo 19, Instrumentos de medición de presión, 667****del capítulo 20, Termómetros, 668****del capítulo 21, Torquímetros y freno Prony, 669****del capítulo 22, Mediciones eléctricas, 671****del capítulo 23, Sistema Internacional de Unidades (SI), 675****Ellstrom Hjalmer, 315****Error:****absoluto, 53****de paralaje, 61****de posición, 62****instrumental, 54****por el método de medición, 55****por condiciones ambientales, 62****humedad, 63****polvo, 63****temperatura, 63****por desgaste, 62****por distorsión, 59**

por el instrumento, 54  
 por el operador, 55  
 por el uso de instrumentos no calibrados, 55  
 por instrumento inadecuado, 57  
 por la fuerza ejercida, 56  
 por puntos de apoyo, 58  
 relativo, 54

**Errores:**

en cuanto a su origen, 54  
 en la medición, 53  
 involucrados en la medición con micrómetro, 204  
 por método de sujeción, 59

Escala práctica internacional de temperatura (1968), 525, 526

Escala principal, 84

Escala vernier, 83

Escalas para medidores de presión, 472

Escalas vernier, cómo tomar lectura, 85

Escuadras, 376

perpendicular, 377

perpendicularidad, 377

tolerancia de perpendicularidad, 377

Escuelas, 6

Esfuerzo cortante torsional, 484

Especificación, 26

Esterradián, 522

Euclides, 10, 11

Euler, Leonhard, 17, 18

Éxodo, 2

**F**

Factores de conversión de unidades, 532-538

Faraday, Michael, 21

Ferrita, 496

Flexómetros, 67

Fortuna, 220

Freno de Prony, 486

Función seno, 372, 373

**G**

Galilei, Galileo, 14, 15

Galvanómetro, 489

aguja indicadora, 499

bobinas, 499

componentes, 493

de álabes concéntricos, 492

de hierro móvil, 491

escalas, 499

imanes, 493

partes del, 494

pernos, 500

pivotes, cojinetes, 500

tornillos de ajuste a cero, 500

Galvanómetro D'Arsonval de bobina móvil, 489, 490

General Motors, 44

Génesis, 1

Gomor, 2, 3

Goniómetro, 365

Grado, 365

Gramil y trazadores, 79

**H**

Habilidad del ojo para reconocer el alineamiento de dos graduaciones, 109

Hering, E., 110

Hertz, deformación de, 209

Hilos por pulgada, 75

Hirth, minímetro de, 220

Huygens, Christiaan, 15

**I**

Incertidumbre, 53

Indicador de carátula tipo cono de conversión (diámetro 0.95 a diámetro 18 mm), 245

Indicadores, 219

de carátula, 219

a prueba de agua, 237

ajuste fino, 223

aplicaciones especiales, 236

cabeceo circular (circular runout), 317

con vástago posterior, 237, 238

cuidados generales al utilizar, 231-235

de una vuelta, 237

efecto de la placa guía, 246

guía con rodillos, 247

guía plana, 247

- guía redondeada, 247
- JIS B 7515-1982, 240
- lectura total del indicador (TIR), 226
- mecanismos de amplificación, 221
- medición con, 222
- medidor de agujeros, 239
- medidor de agujeros grandes (diámetro 18 a diámetro 400 mm), 240
- medidor de agujeros pequeños (diámetro 3 a diámetro 18.5 mm), 242
- medidor de espesores, 236
- medidor de exteriores, 236
- medidor de profundidades, 236
- medidores de agujeros, recomendaciones para el uso de los, 249-252
- movimiento total del indicador (FIM), 226
- Norma JIS B 7519-1976, 239
- palanca de levantamiento, 230
- puesta a cero, 253
- puntas de contacto, 230-231
- soportes, 225
- soportes de transferencia, 225-226
- tipo palanca, 260
  - cabeceo (*runout*), 262
  - cuidados generales requeridos al utilizar, 264-269
  - tipo horizontal, 262
  - tipo universal, 263
  - tipo vertical, 262
  - tipos, 262
- tornillo de fijación del arillo, 230
- vástago y tapas, 228
- electrodigitales, 255
  - cambio de dirección, 259
  - fijado del cero, 257
  - formato RS-232C, 258
  - medición absoluta y medición incremental, 257
  - pantalla con gráfica de barras, 259
  - prefijado, 259
  - salida de datos, 258
- tipo capacitancia, 256
- tipo fotoeléctrico, 256
- Indicadores electrodigitales juicio pasa/no pasa, 259
- Instrumentos de medición de presión, 469
- Instrumentos electrodigitales, 271
  - alarma de bajo voltaje de batería, 287
  - alarma de lectura errónea, 287
  - cálculos estadísticos, 285
  - cambiando del modo INC al ABS, 280
  - cambio de dirección, 282
  - campo electromagnético, 303
  - código IP, 314
  - códigos IP-54 o IP-66, 314
  - contaminación, evitar la, 300
  - control remoto, 287
  - cuidados que requieren los instrumentos, 299
  - deformación de Hertz, 299
  - electricidad estática, 301
  - fijado a cero, 278
  - fijado de tolerancia y juicio pasa-no-pasa, 284
  - flama y explosión, 304
  - funciones básicas, 276
    - encendido/apagado, 276
    - fijado de origen, 276
    - ORIGIN, 276
  - gradiente de temperatura, 300
  - humedad, 300
  - impacto y vibración, 303
  - interferencia de radiofrecuencia, 302
  - interferencia eléctrica, 302
  - ley de Hooke, 299
  - luz solar directa, 301
  - medición de cabeceo (Modo FIM), 284
  - modo ABS, 280
  - modo de mantener el valor máximo, 284
  - modo de mantener la pantalla, 282
  - modo INC, 280
  - neblina de aceite y polvo, 301
  - Norma DIN40050, 529, 314
  - Norma IEC529, 314
  - palpadores tipo cartucho, 307
  - pluma eléctrica, 303
  - prefijado/preset, 276
  - principio Abbe, 299

puntos Airy y Bessel, 299  
 rayos radiactivos, 304  
 rayos ultravioleta, 301  
 restauración de origen (regreso al modo ABS), 280  
 salida de datos, 285  
 selección pulg/mm, 282  
 sensor de posición codificador lineal, 273  
 sensores de posición, 273  
 sensores de posición codificador rotatorio, 273  
 solventes y otros líquidos químicos, 303  
 temperatura de almacenamientos, 300  
 temperatura de operación, 300  
 temperatura estándar, 299  
 unidad múltiple, 310  
 vacío, 304  
 Interferómetro, 318  
 Interpretación de límites de tamaño, 394  
 Introducción, XXIII  
 ISO 9000, 33  
 ISO, Organización Internacional para la Normalización, 27

## J

Johansson, Carl Edward, 315

## K

Kelvin, 522  
 Kilocaloría, 528  
 Kilogramo, 522  
 Krupp, 220

## L

Lagrange, Joseph-Louis, 20  
 Laminas, medidores de espesor, 73  
 Laminas, pasos de, 73  
 Lectura del micrómetro, 166  
 Lectura analógica contra lectura digital, 198  
 Lenz, Heinrich Friedrich Emil, 20, 21  
 Ley de Abbe, 59  
 Ley de Hooke, 208  
 Ley de la gravitación universal, 16  
 Ley de Ohm, 501, 502

Ley Federal sobre Metrología y Normalización, 539  
 Acreditación, Capítulo III De las contraseñas y marcas oficiales, 564  
 Acreditación, Capítulo IV De los organismos de certificación, 564  
 Acreditación, Capítulo V De los laboratorios de pruebas, 565  
 Acreditación, Capítulo VI De las unidades de verificación, 566  
 Acreditación, Capítulo II De la certificación oficial, 563  
 Capítulo II De los instrumentos para medir, 543  
 Capítulo III De la medición obligatoria de las transacciones, 544  
 Capítulo IV del Sistema Nacional de Calibración, 546  
 Capítulo Único, Disposiciones generales, 539  
 Capítulo V Del centro Nacional de Metrología, 547  
 Título segundo, Metrología, 542  
 Título cuarto de la acreditación y certificación, 562  
 Título quinto, verificación y vigilancia, 567  
 Título sexto de los incentivos, sanciones y recursos Cap. I Del Premio Nacional de Calidad, 573  
 Título tercero Normalización, 551  
 Transitorios, 578  
 Normalización:  
   Capítulo II De las Normas Oficiales Mexicanas, 552  
   Capítulo III De la Observancia de las Normas, 557  
   Capítulo IV De la Comisión Nacional de Normalización, 559  
   Capítulo V De los Comités Consultivos Nacionales de Normalización, 560  
   Capítulo VI De los Organismos Nacionales de Normalización, 61  
   Disposiciones generales, 551  
 Límite de tamaño "no pasa", 394  
 Límite de tamaño "pasa", 394

Longitud de onda de la luz roja Cd, 24  
Lupas de comparación, 80

## M

M-SPC, diagrama del sistema de configuración del, 294

Manómetro diferencial, 473

Mantenimiento de calibradores, 98

Materiales magnéticos, imantación, 495

Materiales usados para medir la deformación por resistencia, 487

Maudslay, Henry, 353

Maxwell, James Clerk, 22

Medición:

con instrumentos básicos, 67

de flujo efecto de arrastre, 464

por fuga de aire, 463

y registro, 64

Medición angular, 365

ángulos agudos, 365

ángulos obtusos, 365

características dato, 375

decimal, 365

dimensión básica, 375

marco de control de característica, 375

sexagesimal, 365

tolerancia de angularidad, 375

Mediciones eléctricas básicas, 489

Medida, 41

directa, 42

indirecta, 42

Medidor de agujeros con cabeza micrométrica, 244

Medidor de altura con vernier, 143

Medidor de termopar, 493

Medidores de agujeros, recomendaciones para el uso de los, 247-249

Medidores de altura, 143

con carátula, 151

con carátula y contador, 151

contador, 153

cuidados requeridos al utilizar, 159

electrodigitales, 154

disco, 156

función de mantener datos HOLD, 155

función de prefijado, 155

palpador de señal de contacto bidireccional, 156

lente de aumento, 159

mesa de granito, 143

precaución cuando se mida con, 146-150

superficie dato, 159

trazador, 143

Medidores de deformación con resistencia eléctrica, 486

Medidores de espesor, linternas, 73

Medidores de profundidad, 138

comparación de la exactitud, 142

nomenclatura, 140

Megaohmetro (megger), 517

Megger, circuito básico, 518

Mesas de granito, 356

accesorios, paralelas, 362

accesorios, 361

bloques escalonados, 362

bloques huecos, 362

bloques V, 362

bordes rectos, 362

cabeceo *runout*, 362

comparadores de banco, 362

cubos, 362

escuadras de sujeción, 361

escuadras de sujeción universal, 362

mesa de senos, 362

piedra de Arkansas, 362

plataforma para mordazas magnéticas, 362

prisma para poner a escuadra, 362

regla de senos con cabeza y cola de milano, 362

coeficiente de conductividad térmica, 357

corrosión, 357

cuidados, 361

daños por golpes, 357

dureza, 357

estabilidad dimensional, 357

exactitud de la planitud, 358

inspección, 361

instalación, 360

- limpieza, 360
- lugar de instalación, 359
- negro, 357
- otras características del granito, 358
- recomendaciones para uso y conservación, 359
- textura de la superficie, 357
- Metre des Archives*, 18
- Metro, 522
- Metro de archivo, 18, 23
- Metrología, 41
  - dimensional, 41
  - superficial, rugosidad, 427
  - teórica, la naturaleza de una ley, XXV
  - y Normalización, Ley Federal sobre, 539
- Microamperímetros, 502
- Microindicadores, 239
- Micrómetro:
  - con doble tambor, 178
  - con topes de arco en V para tres puntas de corte, 179
  - con topes de arco en V, 179
    - medición del diámetro de paso de machuelos, 181
    - para cinco puntas de corte, 180
  - de cuchillas, 178
  - de exteriores con husillo no giratorio, 177
  - de interiores:
    - tipo calibrador, método de medición, 192
    - tipo tres puntos de contacto, 193
    - tubular tipo punta intercambiable, 190
    - tubular tipo varilla intercambiable, 189
  - de profundidades:
    - tipo varilla intercambiable, 194
    - tipo varilla seccionada, 197
    - varillas intercambiables con diversas longitudes, 195
    - tipo varilla simple, 194
  - deformación de Hertz, 209
  - digital, ajuste a cero del, 200
  - efecto de la temperatura, 210
  - error de paralaje, 206
  - error instrumental, 211, 212
  - errores involucrados en la medición con, 204
  - estándar de exteriores, partes del, 169
    - ajuste de las partes roscadas, 170
    - arco, 169
    - dispositivo de fuerza constante, 172
    - freno, 174
    - sujeción del cilindro, 172
    - sujeción del tambor, 172
    - tambor de fricción, 173
    - topes de medición, 170
    - trinquete, 172
  - lectura del, 166
  - Ley de Hooke, 208
  - para dientes de engrane, 182
  - para ranuras interiores, 179
  - principio del, 164
  - principio del tambor, 164
  - principio del husillo, 164
  - principio del paso, 164
  - principio del tornillo, 164
  - puntos Airy, 207
  - puntos Bessel, 207, 208
  - tipo calibrador, 60
  - tipo discos para espesor de papel, 178
  - tubular para medición de engranes internos, 190
- Micrómetros, 163
  - con contador mecánico, 199
    - lectura de, 201
    - mecanismo del contador, 199
  - cuidados generales requeridos al utilizar, 212-218
  - de interiores, 185
    - método de medición, 187
    - tipo barra simple, 187
    - tipo calibrador, 192
    - tipo calibrador, precauciones al utilizar, 192
    - tipo tubular, 187
    - tubulares tipo extensión, 188
  - de lectura digital, ventajas de los, 202
  - de profundidades, 194
    - ajuste del cero, 195
    - precauciones de uso, 195
  - de puntas, 175
  - digitales, 198
  - electrodigitales, 203

- indicativos, 176
- para aplicación especial, 174
- para dimensiones mayores a 25 mm (2 pulgadas), 183
- para espesor de láminas, 182
- para medir cejas de latas, 176
- para medir ranuras, 175
- para medir tubos, 174
  - tipo con ambos topes esféricos, 175
  - tipo tope cilíndrico, 175
  - tipo tope fijo esférico, 174
- principio de Abbe, 205
- Microprocesador, 138
- Microtechnic, 111
- Mileto, Tales de, 6
- Miliamperímetros, 502
- Minímetro de Hirth, 220
- Minipprocesador, 292
  - DP-1HS, 292
  - DP-7, 292
- Mol, 522
- Momento polar de inercia, 484
- Moser, W., 111
- Mumetal, 496
- MUX-10, 293
- MUX-40, 293

## N

- Newton, 529
- Newton, Isaac, 15, 16
- Niveles, 380
  - de burbuja, 377
  - norma JIS B 7511 (1972), 380
  - sensitividad, 380
- Nonius, Petrus, 83
- Norma, 25
  - ANSI Y14.5M-1982, 43
  - de normas, 39
  - ISO 1101, 43
  - JIS B 7519-1976, 239
  - JIS B-7507 Calibradores vernier, 90
  - USAS B 4.1-1967, 393
- Normalización, 25
  - aspectos de la, 29

- aspectos fundamentales de la, 37
  - especificación, 38
  - simplificación, 37
  - unificación, 37
- dominio de la, 28
- espacio de la, 27
- metodología de la, 38
- niveles de la, 29
- objeto de la, 26
- principios científicos de la, 34
  - compradores o usuarios, 36
  - cooperación, 35
  - equilibrio, 35
  - homogeneidad, 35
  - interés general, 36
  - principios generales, 34
- Normas de asociación, 31
  - API, 31
  - ASME, 31
  - ASQC, 31
  - ASTM, 31
  - FED. SPEC., 31
  - IEEE, 31
  - MIL-STD, 31
- Normas de carácter nacional, 31
  - BS, 31
  - CS, 31
  - DIN, 31
  - JIS, 31
  - NF, 31
  - NMX, 32
  - NOM, 32
- Normas de carácter regional, 32
  - COPANT, 32
  - EN, 32
- Normas internacionales ISO, 33
- Normas y normalización, 25
- Normalización, principios científicos de la, fabricantes, 36
- Nueva definición del metro, 24
- Nuevo testamento:
  - medidas de capacidad:
    - almud, 4
    - barruk, 5
    - cántaro, 5

medida, 5  
 medidas lineales, 4  
   brazo, 4  
   camino de un día de reposo, 4  
   codo, 4  
   estadio, 4  
   milia, 4  
 pesos y monedas, 4  
   blanca, 4  
   cuadrante, 4  
   cuarto, 4  
   denario, 4  
   dracma, 4  
   libra, 4  
   libra de plata, 4  
   siclo, 4  
   talento, 4  
 tiempo hora, 5  
 tiempo vigilia, 5  
 Números, 2

## O

Objeto de la normalización, 26  
 Óbolos, 3  
 Oersted, Hans Christian, 21  
 Oficina Internacional de Pesos y Medidas, 22  
 Óhmetros, 513, 515  
 Óhmetros, comparación de escalas de, 515  
 Óhmetros, escalas de, 515  
 Ojo humano, 109  
 Organismos certificadores, 34  
 Organización Internacional para la Normalización (ISO), 27

## P

Par mecánico, 483  
 Paralaje, error de, 61  
 Partes del manómetro de tubo de Bourdon, 470  
 Patrones:  
   angulares, 371  
   de radios, 74  
   para alambres, 74  
   para brocas, 74  
   para láminas, 74

Permalloy, 496  
 Perno patrón cilíndrico, 399  
   montaje cónico, 399  
   Norma ANSI B 47.1-1981, 400  
   tipo alambre, 399  
   triple montaje reversible, 399  
 Perno patrón, Norma DIN 2269, 400  
 Pitágoras, 7, 8  
 Platón, 9  
 Principio de Taylor, 395  
 Procedimientos de interpolación para la escala práctica internacional de temperatura (1968), 526  
 Programas de computador, software, 138  
 Prototipo del metro, 23  
 Proyector de perfiles, 409  
 Ptolomeo, Claudius Ptolomaeus, 12  
 Puente de Wheastone, 516  
 Puntos Airy, 58  
 Puntos Bessel, 58  
 Puntos fijos derivados para la escala práctica internacional de temperaturas (1968), 525  
 Puntos fundamentales para la escala práctica internacional de temperatura (1968), 525

## Q

Qué es una ley metrológica, XXIV

## R

Radián, 365, 522  
 Radios, patrones de, 74  
 Regla de acero, 68  
 Regla de la mano izquierda, 597  
 Regla flexible, 68  
 Regla rígida, 68  
 Reglas, 67  
   lectura de decimales de pulgada, 71  
   lectura de fracciones de pulgada, 69  
   lectura de graduadas en milímetros, 72  
 Reglas de senos, 371  
 Relación del campo magnético y la dirección de la corriente, 496  
 Repetibilidad, 53  
 Reproducibilidad, 53



inspección, 479  
 líquido sensitivo de la temperatura, 475  
 marcado, 479  
 material, 479  
 rango de medición, 482  
 temperatura por efectos mecánicos, medición de, 475

Termómetros, Norma JIS B7542, 481

Tipos de vernier, 83

Toharz, 18

Tolerancia geométrica, 43

Tolerancia y ajuste, 385

Tolerancias bilaterales, 386

Tolerancias, el Sistema ISO, 386

Tolerancias expresadas con signos más y menos, 386

Tolerancias unilaterales, 385

Torquímetro y freno de Prony, 483

Torsión, 483

ángulo de, 485

deformación al corte, 484

efectos de la, 483

módulo cortante de elasticidad, 484

momento de, 483

Transformación de unidades, 49

Transportador, 365

Transportador electrodigital, 365

Tratado Internacional del Sistema Métrico, 22

Trazadores y gramil, 79

## U

Unidad térmica británica (BTU), 528

Unidades, 45

Unidades de longitud:

en épocas antiguas, 5

cúpito, 5

dedo, 5

duim, 5

estadios, 5

longitud de la flauta, 6

milia, 5

pie, 5

pouse, 5

shaku, 6

sung, 6

## V

Valor:

convencionalmente verdadero, 53

efectivo (rcm), 506, 507

medio, 504-507

pico, 504-507

Vernier:

brazo principal y cursor, 89

calibradores grandes y pequeños, 90

construcción con ajuste al ras, 90

construcción con ranuras, 90

construcción estándar, 89

construcción rebajada, 90

en pulgadas, 88

en pulgadas fracción, 88

error de paralaje, 89

estándar, 85

largo, 87

largo, legibilidad, 87

Vernier, Pierre, 83

Vinci, Leonardo da, 12, 13

Visvesraya, H. C., 28

Voltímetro, 508-512

conexión de un, 512

escalas de, 513

## W

Watt, James, 163

Wheastone, puente de, 116

Whitworth, Joseph, 353

## Z

ZrO<sub>2</sub>, óxido de zirconio, 347