

MEDICION Y CALIBRACION DE INSTRUMENTOS DE LA MAGNITUD DIMENSIONAL

PROGRAMA DE ESTUDIOS EN CALIDAD, AMBIENTE y METROLOGÍA



Coordinadora PROCAME

M.Sc. Ligia Bermúdez Hidalgo

Equipo de trabajo:

M.Sc. Manfred Murrell Blanco

Ing. Ana Catalina Leandro Sandí

Licda. Karla Vetrani Chavarría

PROGRAMA DE ESTUDIOS EN CALIDAD, AMBIENTE Y METROLOGÍA

1 ÍNDICE

1	ÍNDICE	2
2	PERFIL DEL CURSO	3
a)	Objetivo general.....	3
b)	Objetivos específicos.....	4
c)	Dirigido a.....	4
d)	Contenido temático	4
e)	Estrategia metodológica	4
f)	Duración.....	5
g)	Proyecto asistido a distancia	5
h)	Evaluación	5
3	INTRODUCCIÓN	5
4	CLASIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION.....	6
1.	Aspectos generales.....	6
2.	Ejercicios.....	23
5	ERRORES DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION Y SU CLASIFICACION	24
1.	Generalidades y conceptos.....	24
2.	Clasificación de los errores en cuanto a su origen.....	27
3.	Influencia de la temperatura en las mediciones de longitud y ángulo.....	32
4.	Ejercicios.....	35
6	BLOQUES PATRON Y MARMOLES. VERIFICACION DE PLANITUD	36
1.	Patrones de caras paralelas o galgas (bloques) patrón	36
2.	Clasificación de los bloques patrón.....	37
3.	Procedimiento de adherencia.....	39
4.	Verificación de la planitud en bloques aplicando el método de franjas de interferencia luminosa.....	43
5.	Marmoles.	45

6. Ejercicios	50
7 MEDICION Y CALIBRACION DE PIE DE REY (VERNIER)	51
1. Aspectos generales.....	51
2. Ejercicios	53
Ejercicio 4.....	73
8 MEDICION Y CALIBRACION DE MICROMETROS PARA EXTERIORES	84
1. Consideraciones generales.....	84
Ejercicio 5.....	101
10 MEDICION Y CALIBRACION DE MEDIDORES DE ANGULOS CON VERNIER Y NIVELES DE BURBUJA DE CUADRO Y DE BARRA	115
11 RESPUESTAS DE EJERCICIOS	137
Ejercicio 1	137
<i>Ejercicio 2</i>	138
<i>Ejercicio 3</i>	139
Ejercicio 4	140
Ejercicio 5	146
12 BIBLIOGRAFIA	159
13 LINKS Y PÁGINAS DE INTERÉS.....	160

2

PERFIL DEL CURSO

a) Objetivo general

- Conocer los principios fundamentales sobre la medición y calibración de instrumentos de longitud y ángulo

b) Objetivos específicos

- . Brindar a los participantes los conocimientos básicos acerca del funcionamiento de los instrumentos de medición mecánicos de longitud y ángulo.
- Brindar a los participantes los conocimientos teóricos – prácticos necesarios para la calibración de pie de rey con vernier, micrómetros para exterior, medidores de ángulo y niveles de burbuja.

c) Dirigido a

- Gerentes, especialistas y técnicos vinculados con metrología, aseguramiento de calidad, gestión ambiental y actividades afines.

d) Contenido temático

- Traza Clasificación de los instrumentos de medición.
- Métodos de medición.
- Errores de los instrumentos de medición y su clasificación.
- Influencia de la temperatura en las mediciones de longitud y ángulo.
- Galgas patrón.
- Mármoles.
- Verificación de planitud.
- Medición y calibración de pie de rey con vernier.
- Medición y calibración de micrómetros para exteriores.
- Medición y calibración de medidores de ángulos con vernier.
- Medición y calibración de niveles de burbuja: de barra y de cuadro.

e) Estrategia metodológica

- Exposición por parte de instructores.
- Trabajos en grupo.
- Evaluación cualitativa y sistemática de los participantes a través de sus intervenciones y de su participación en los trabajos grupales.

- Recursos audiovisuales.
- Análisis de casos.

f) Duración

- 30 horas. El curso se impartirá en cinco sesiones presenciales de cuatro horas cada una, para un total de 20 horas y 10 horas en un Proyecto Asistido a Distancia.

g) Proyecto asistido a distancia

- Este proyecto será evaluado a partir de varias temáticas que incluyen: vocabulario internacional de metrología, procedimientos de calibración y análisis de incertidumbre para la magnitud dimensional.

h) Evaluación

- Examen final 70%
- Proyecto asistido a distancia 30%

3 INTRODUCCIÓN

La metrología dimensional se encarga de estudiar las técnicas de medición que determinan correctamente las magnitudes lineales y angulares (longitudes y ángulos). Es de gran importancia para la industria en general y más específicamente para la industria de construcción de maquinarias ya que permite garantizar el aseguramiento metrológico de los instrumentos de medición y equipos que intervienen en el proceso productivo para comprobar las dimensiones y forma geométrica de las piezas, posición relativa entre las superficies y calidad en la terminación que se da a los

PROGRAMA DE ESTUDIOS EN CALIDAD, AMBIENTE Y METROLOGÍA

componentes mecánicos, y cuyos valores se expresan en unidades de longitud y de ángulo.

El presente documento tiene como objetivo que los estudiantes o los usuarios conozcan los principios fundamentales sobre la medición y calibración de los instrumentos de longitud y ángulo; para alcanzar esto se brindaran conocimientos básicos acerca del funcionamiento y la calibración de los instrumentos de medición entre los que se destaca el pie de rey con vernier, micrómetros para exterior, medidores de ángulo, niveles de burbuja y escuadras universales. Esto se logrará a partir del desarrollo en los siguientes apartados en donde se dan las características básicas de los instrumentos de medición, los diversos métodos de medición y los errores asociados a estos, el cómo influye la temperatura en las diferentes mediciones.

4

CLASIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS

DE MEDICION

1. Aspectos generales

Cuando mediante un conjunto de operaciones realizadas de modo automático o manual determinamos el valor de una magnitud dada, estamos en presencia de un proceso de medición.

Para la realización de mediciones con el mínimo de confianza requerido para un proceso dado, se han desarrollado disímiles instrumentos de medición que son en la práctica dispositivos diseñados a partir de diferentes principios físicos para ser usados en mediciones, solos o en unión de otros equipos suplementarios.

Los instrumentos de medición se clasifican atendiendo a los aspectos siguientes:

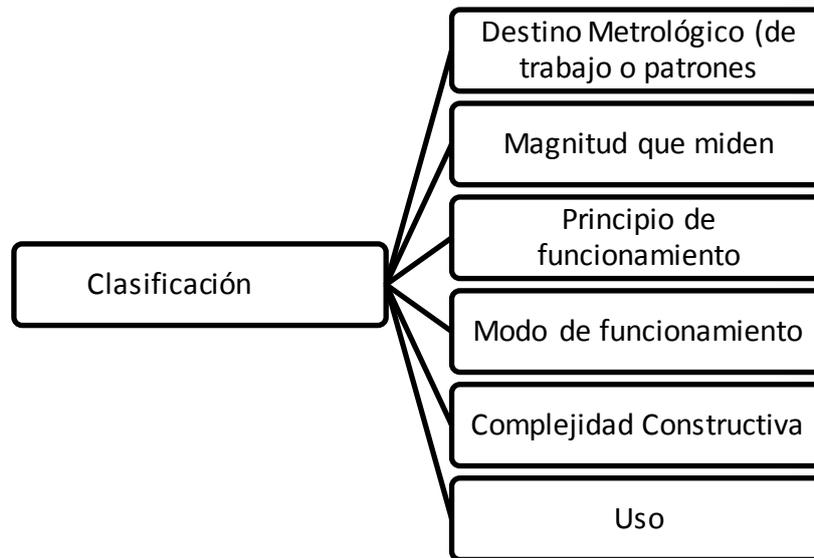


Figura 1. Clasificación de los instrumentos de medición

Se estudiarán cada uno de los aspectos de forma individual

- *Destino Metrológico:* Según su destino metrológico, los instrumentos de medición se clasifican en instrumentos de medición de trabajo y patrones.
 - Instrumentos de medición de trabajo: Estos instrumentos son los destinados para la realización de mediciones no relacionadas con la transmisión de la unidad de magnitud (o múltiplos o submúltiplos de esta), así como la calibración de otros instrumentos de medición.

Pueden citarse como ejemplos los siguientes:

- el pie de rey o vernier,



Figura 2. Pie de rey

- el metro utilizado en las tiendas para medir las telas durante la venta,



Figura 3. Metro

- las balanzas empleadas en los mercados para la venta de alimentos.



Figura 4. Balanza de Funcionamiento no automático

- Instrumentos de medición patrones: Se define como instrumento de medición patrón una medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia.

Ejemplos:

- a) Bloque patrón



Figura 5. Bloques Patrón

- b) Mármol de verificación y trazado (de granito o hierro fundido)



FIGURA 6. MESA DE PLANITUD O MÁRMOL DE VERIFICACIÓN

c) Microscopio instrumental



FIGURA 7. MICROSCOPIO

d) Regla de hierro fundido para la comprobación de rectitud



FIGURA 8. REGLA DE HIERRO FUNDIDO

Los instrumentos de medición patrones, atendiendo a su destino y exactitud, se dividen en:

Primarios	<ul style="list-style-type: none"> • Poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a patrones de la misma magnitud • Medida es válida en unidades básicas, como para unidades derivadas
Secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumento de medición patrón cuyo valor se establece por comparación con el patrón primario de la misma magnitud.
Patrón internacional:	<ul style="list-style-type: none"> • Reconocido por acuerdo internacional para servir como referencia internacional para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada.
Patrón nacional:	<ul style="list-style-type: none"> • Patrón reconocido por una decisión nacional de un país, para servir como referencia para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada. Por regla general, en un país el patrón nacional constituye el patrón primario.
Patrón testigo:	<ul style="list-style-type: none"> • Es el patrón secundario destinado a sustituir al patrón primario en caso de su deterioro o pérdida.
Patrón de referencia:	<ul style="list-style-type: none"> • Es el patrón, en general de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado o en una organización determinada, del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.
Patrón de trabajo:	<ul style="list-style-type: none"> • Patrón que se utiliza corrientemente para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medida o materiales de referencia.
Patrón viajero:	<ul style="list-style-type: none"> • Patrón, algunas veces de construcción especial, destinado para ser transportado entre diferentes lugares.

Figura 9. Tipos de patrón

- *Magnitud que miden:* Teniendo en cuenta la magnitud que miden, los instrumentos de medición se clasifican en instrumentos de medición de

Longitud	Temperatura	Presión
Masa	Electricidad	Físico-Química
Volumen	Fuerza	Dureza

Figura 10. Magnitudes de medición

- *Principio de Funcionamiento:* El principio de funcionamiento de un instrumento de medición es el fenómeno o los fenómenos físicos de mayor importancia desde el punto de vista de su construcción y utilización, que tiene lugar durante la medición de manera esencial y necesaria para su funcionamiento.

Teniendo en cuenta el principio de funcionamiento, los instrumentos de medición se clasifican en:

- mecánicos,
- ópticos,
- eléctricos,
- neumáticos o en las combinaciones de todos los antes mencionados.

De acuerdo a las particularidades constructivas pueden ser empleadas varias formas de clasificación de los instrumentos de medición, de ellos citaremos los que aparecen con mayor frecuencia en la literatura técnica, a saber son los siguientes:

Ejemplos:

- Mecánicos: vernier, micrómetros, indicadores de carátula o relojes comparadores.
- Ópticos - mecánicos: comparadores ópticos, microscopios instrumentales.
- Electroanalógicos: última generación de instrumentos, agrupa a los dos campos anteriormente definidos con la particularidad de que los sistemas de adquisición de información han sido sustituidos por modernos sensores
- que convierten en el caso de las mediciones dimensionales, los desplazamientos de las caras de medición de los instrumentos en señales eléctricas que luego son manipuladas con ayuda de herramientas digitales.

Modo de funcionamiento: Atendiendo al modo de funcionamiento, los instrumentos de medición se clasifican en:

- manuales,
- Semiautomáticos,
- automáticos

Complejidad constructiva: Atendiendo a su complejidad constructiva, los instrumentos de medición se clasifican en:

- medida materializada,
- instrumento de medición,
- instalación de medición.

Instalación de medición: Es el conjunto de instrumentos de medición y dispositivos auxiliares necesarios, que se agrupan siguiendo un esquema definido conforme a un método de medición dado; sirve para transformar la información tomada y representa la cantidad de magnitud medida en forma perceptible directamente por el observador.

Puede citarse como ejemplo una instalación para medir la deformación de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas externas.

Uso: Según el uso para el que están destinados, los instrumentos de medición se dividen en:

- instrumentos de medición de uso general: Son los instrumentos de medición destinados a medir determinada magnitud, independientemente de las características del objeto a medir, campo de utilización o condiciones de empleo.
- instrumentos de medición de uso especial: Son aquellos destinados a la medición de la cantidad de magnitud de determinado tipo de objeto, en un ramo específico, para determinar algún índice o magnitud derivada del resultado de la medición.

Clasificación de las mediciones.

Aunque pueden tenerse en cuenta una gran variedad de criterios para la clasificación de las mediciones que dan lugar a diferentes tipos de mediciones, a los efectos de este curso consideraremos solamente los tipos siguientes:

Directas: Es la medición mediante la cual es posible hallar directamente el valor de la cantidad de la magnitud a medir, sin que sea necesario realizar cálculos suplementarios basados en una dependencia funcional de esta magnitud, con otras magnitudes medidas. Son ejemplos de mediciones directas las siguientes:

mediante un voltímetro.

En las mediciones directas son necesarios, a lo sumo, cálculos aritméticos sencillos o el empleo de tablas de correcciones.

Medición indirecta: Es la medición en la que el valor de la cantidad de magnitud a medir se determina mediante la dependencia conocida entre

esta y los valores de otras cantidades de magnitud, halladas directamente unas o a su vez indirectamente otras, con o sin la ayuda de tablas. Son ejemplos de mediciones indirectas las siguientes:

- a) La medición de la densidad de un cuerpo, sobre la base de mediciones directas de su masa y dimensiones geométricas.
- b) La medición de la resistividad del material de un conductor, sobre la base de las mediciones de la resistencia del material, de su longitud y del área de su sección transversal.

Un tipo especial de mediciones indirectas son las mediciones conjuntas, en las que los valores de un cierto número de magnitudes a medir, de un mismo tipo, se hallan según los resultados de las mediciones directas de diferentes combinaciones de estas cantidades, mediante la solución del sistema de ecuaciones correspondiente.

Como ejemplo puede mencionarse la medición de la masa de cada una de las pesas de un juego, cuando se conoce:

- la masa de una de las pesas
- los resultados de las comparaciones entre las masas de diferentes combinaciones posibles de estas pesas.

Medición absoluta: Esta consiste en la medición directa de una o más cantidades de magnitudes básicas, con el auxilio o no del valor de constantes físicas. Como ejemplo puede mencionarse la medición de la aceleración local de la gravedad, sobre la base de la medición del espacio recorrido en determinado lapso, por un cuerpo que cae libremente (bajo la acción de fuerzas gravitacionales) a partir del reposo.

La exactitud de una medición absoluta esta limitada solo por la alcanzada en la reproducción de los patrones y escalas de las magnitudes básicas, debido a que en cada época se toman como magnitudes básicas aquellas que mejor se reproducen. Una medición absoluta puede elevar su exactitud hasta el máximo permitido por el desarrollo de la técnica de medición en su momento.

Medición relativa: Es la medición que consiste en la determinación de la relación existente entre una cantidad de magnitud y otra del mismo tipo que se considere como unidad convencional, sin recurrir a la determinación de cada una por separado, o en la medición de una cantidad de magnitud en relación con otra del mismo tipo ya conocida. Son ejemplos de mediciones relativas las siguientes:

- a) La medición de la densidad de un cuerpo relativa a la del agua, que se toma, a determinada temperatura, como unidad convencional.
- a) La medición de la humedad relativa del aire, determinada como relación, expresada generalmente en tanto por ciento de la cantidad de vapor acuoso en un volumen y a una temperatura dada, y la cantidad de vapor saturante en ese volumen a la misma temperatura.

Con respecto a las mediciones absolutas y relativas es importante señalar que:

- a) Hay mediciones que no son absolutas, ni relativas.
- b) Aunque el valor obtenido al hacer una medición relativa es adimensional, no carece de unidad de medida y se toma, en este caso, la convencional.

En el caso de mediciones de longitud y ángulo, estas pueden realizarse tanto con contacto como sin contacto.

Medición con contacto: La medición con contacto se realiza mediante la conjugación de las superficies de medición del instrumento con las del objeto a medir, este tipo de medición es el más empleado dado que es simple y universal. No obstante, tiene una serie de inconvenientes como son:

- a) la existencia de un esfuerzo variable, lo cual implica la necesidad de dispositivos para limitarlos,
- b) el contacto inseguro debido a la presencia de irregularidades en la superficie de la pieza a medir,

- c) la deformación elástica de la pieza y el instrumento bajo la fuerza de medición,
- d) la dificultad de hacer contacto en superficies pequeñas o de forma compleja.

Medición sin contacto: La medición sin contacto esta caracterizada por la ausencia del contacto de las superficies de medición del instrumento con la pieza. Esta medición no tiene las dificultades señaladas anteriormente, ya que durante la medición no hay contacto entre el medio de medición y la pieza. Los proyectores de perfiles, los microscopios, y algunos instrumentos eléctricos y neumáticos permiten realizar este tipo de medición.

Clasificación de los instrumentos de medición de longitud y ángulo de acuerdo al tipo de medición que realizan (directa e indirecta). Instrumentos y aparatos de medición utilizados en metrología dimensional.

La metrología dimensional se aplica en la medición de longitudes (exteriores, interiores, profundidades, alturas) y ángulos, así como de la evaluación del acabado superficial.

En la tabla se muestra una relación de instrumentos de medición empleados en la metrología dimensional de acuerdo al tipo de medición que realizan, directa o indirecta.

Cuadro 1. Clasificación de instrumentos de medición de acuerdo a tipo de medición que realizan

Lineal	Medida directa	Con trazos o divisiones	Metro rígido o plegable	17
			Regla graduada rígida o flexible	
			Todo tipo de calibradores y medidores de altura con escala Vernier	
		Con tornillo micrométrico	Todo tipo de micrómetros	
			Cabezas micrométricas	

	Medida indirecta	Con dimensión fija	Bloques patrón
			Calibradores de espesores (lainas)
			Calibradores límite (pasa – no pasa)
		Comparativa	Comparadores mecánicos
			Comparadores ópticos
			Comparadores neumáticos
			Comparadores electromecánicos
			Máquina de medición de redondez
			Medidores de espesor de recubrimiento
	Trigonometría	Esferas o cilindros	
		Máquinas de medición por coordenadas	
	Relativa	Niveles	
		Reglas ópticas	
		Rugosímetros	
Angular	Medida directa	Con trazos o divisiones	Transportadores simple de ángulos
			Goniómetro
			Escuadra de combinación
		Con dimensión fija	Escuadras de 90°
			Patrones angulares
			Calibradores cónicos

	Medida indirecta	Trigonométrica	Falsas escuadras
			Regla de senos
			Mesa de senos
			Máquinas de medición por coordenadas

Características metrológicas de los instrumentos de medición.

Para todos los instrumentos de medición se han establecido, independientemente del principio empleado para su construcción, ciertas características metrológicas comunes, las cuales caracterizan sus principales cualidades metrológicas.

A continuación definiremos un grupo de estas características, seleccionados entre los que mayor empleo práctico reciben.

Comenzaremos la exposición con la definición de **ESCALA**, aunque este no es en sí una característica metrológica, es importante su definición producto de que a partir de ella derivaremos los restantes conceptos:

- **Escala:** conjunto ordenado de trazos, que asociadas a cualquier numeración, forman parte de un dispositivo indicador o de un instrumento de medición.
- **Longitud de escala:** para una escala dada, es la longitud de la línea uniforme comprendida entre el primero y el último trazo y que pasa por los puntos medios de los trazos más pequeños.
- **Rango de indicación:** conjunto de los valores limitados por las indicaciones extremas.
- **División de la escala:** parte de una escala comprendida entre dos trazos consecutivos cualesquiera.
- **Longitud de una división:** distancia entre dos trazos sucesivos, medida a lo largo de la misma línea que para la longitud de escala.
- **Valor de división:** diferencia entre los valores correspondientes a dos trazos sucesivos de escala.

- **Sensibilidad: cociente** del incremento de la respuesta de un instrumento de medida por el incremento correspondiente de la señal de entrada.
- **Umbral de discriminación:** máxima variación de la señal de entrada que no provoca variación detectable de la respuesta de un instrumento de medida, siendo la variación de la señal de entrada lenta y monótona. Puede depender del ruido interno y externo o del rozamiento, también puede depender del valor de la señal de entrada.
- **Resolución (de un dispositivo de indicación):** es la menor diferencia de indicación de un dispositivo visualizador que puede percibirse de forma significativa. Para un dispositivo de indicación digital, es el cambio en la indicación cuando el dígito menos significativo cambia en un paso. Este concepto también se aplica a un dispositivo registrador.

Métodos de medición.

La diversidad de utilizaciones prácticas y la gran cantidad de instrumentos de medición, determinan los distintos métodos por los cuales se realiza la medición de las dimensiones reales de las piezas.

La definición más generalizada de método de medición es la siguiente: **secuencia lógica de las operaciones, descritas de una forma genérica, utilizadas en la ejecución de las mediciones.**

En la práctica las mediciones en dependencia del principio de determinación de la dimensión real del objeto a medir se diferencian por los métodos de medición siguientes:

Método directo o de valoración inmediata: Es el método de medición por el cual el valor de la cantidad de magnitud a medir se determina de inmediato o directamente por el dispositivo de lectura del instrumento de medición. Son ejemplo de este método los siguientes:

- a) la medición del diámetro de un tornillo por medio del pie de rey,
- b) la medición de la desviación de rectitud de una pieza por medio del indicador de carátula,
- c) los ángulos de una pieza por medio de goniómetros o medidores de ángulos

Método de comparación: Es el método de medición que consiste en la comparación del valor de una magnitud física a medir, con un valor conocido de la misma magnitud o con un valor conocido de otra magnitud física que es función de la magnitud que se va a medir.

provistas por el objeto sobre el que se realiza la medición y por medidas materializadas, o instalaciones de medición, que pueden presentarse por separado o constructivamente incluidas en un instrumento o instalación de medición. Son ejemplos de este método de medición los siguientes:

- a) la medición de una masa utilizando una balanza de brazos iguales y pesas. En esta medición las pesas son transformadas en pesos, y estos en momentos, que son los que se comparan,
 - b) la medición de una longitud mediante una regla, o la medición del volumen de cierta cantidad de líquido mediante el uso de una probeta graduada. En casos como estos la cantidad medida se compara sin transformación previa con otra del mismo tipo. Los métodos de comparación pueden ser por sustitución, por transposición y diferencial.
- Método de comparación por sustitución: Es el método de medición por comparación en el que la cantidad de magnitud física que se va a medir se sustituye por otra de valor conocido, de manera tal que los efectos producidos por ambas cantidades sobre el dispositivo indicador del instrumento de medición sean los mismos. Como ejemplo de este método puede citarse el siguiente:
 - a) la determinación de una masa por medio de una balanza y pesas, cuando la masa a determinar y las pesas que la sustituyen se sitúan sucesivamente en el mismo platillo de la balanza, produciendo un mismo estado de equilibrio (conocido como método de pesada por sustitución de Borda)
 - Método de comparación por transposición: Es el método de medición por comparación en el cual la cantidad de magnitud física que se va a medir se compensa primero con una cantidad conocida de la misma magnitud física. A continuación se intercambian las posiciones de ambas en el instrumento de medición y se compensa nuevamente, después de lo cual se determina el valor buscado de acuerdo con los dos valores conocidos de la magnitud, necesarios para la compensación. Como ejemplo de este método puede citarse el siguiente:
 - a) la determinación de la masa de un cuerpo, en una balanza de brazos iguales, por el método de doble pesada de Gauss.

- Método de comparación diferencial: Es el método de medición por comparación que consiste en la determinación de la diferencia entre la cantidad de magnitud física a medir y un valor conocido de la misma magnitud. Son ejemplos de este método de medición los siguientes:
 - a) La medición de la longitud de una pieza mediante la comparación de esta y un bloque planoparalelo, con el auxilio de un indicador de carátula.
 - b) La comparación entre dos tensiones de corriente eléctrica mediante el empleo de un voltímetro diferencial. El método de medición por comparación diferencial puede realizarse de formas diferentes, conocidas como método de medición de cero y de medición por coincidencia.
- Método de comparación diferencial (medición de cero): Es el método diferencial en el que la diferencia entre la cantidad de magnitud física que se mide y el valor conocido de la misma magnitud con el cual se compara se lleva a cero. Son ejemplos de este método los siguientes:
 - a) La medición de una resistencia eléctrica mediante un puente Wheatstone.

La medición de masa de un cuerpo, por medio de una balanza y pesas.

- Método de comparación diferencial (medición de coincidencia): Es el método diferencial en el cual se utiliza la coincidencia de dos señales de medición. En este método la diferencia entre la cantidad de magnitud a medir y la cantidad de magnitud presentada por el medio de medición se determina mediante coincidencia de los trazos de la escala, o de señales periódicas. Son ejemplos de este método de medición los siguientes:
 - a) La medición de una longitud mediante un pie de rey, o la medición de un ángulo mediante un medidor de ángulo con nonio, en los que el resultado de la medición se determina por el trazo del nonio que coincide con un trazo de la escala principal.
 - b) Medición de un lapso de tiempo por la coincidencia de señales de tiempo con las indicaciones de un reloj.

2. Ejercicios

Resuelva las siguientes conversiones

$$25,2 \text{ mm} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ km}$$

$$32,12 \text{ km} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ millas}$$

$$12,15 \text{ km} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ yd}$$

$$14,8 \text{ yd} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ millas}$$

$$11 \text{ " } = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$$

$$18,3 \text{ m} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ "}$$

$$14,3 \text{ " } = \underline{\hspace{2cm}} \text{ yd}$$

$$125 \text{ cm}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ yd}^2$$

$$12501 \text{ m}^2 = \underline{\hspace{10em}} \text{ km}^2$$

$$8 \text{ yd}^2 = \underline{\hspace{10em}} \text{ m}^2$$

$$12 \text{ yd}^2 = \underline{\hspace{10em}} \text{ millas}^2$$

5

ERRORES DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION Y SU CLASIFICACION

1. Generalidades y conceptos

Como consecuencia de la influencia de un gran número de factores casuales y determinantes que surgen en el proceso de fabricación, conservación y explotación de los instrumentos de medición, los valores de las medidas materializadas y las indicaciones de los instrumentos inevitablemente se diferencian de los valores reales de las magnitudes reproducidas o medidas por los mismos. Estas desviaciones son las que caracterizan los errores de los instrumentos de medición.

La cualidad de un instrumento de dar indicaciones próximas al valor verdadero del mensurando y que, por tanto, refleja la cercanía a cero de sus errores, se denomina **exactitud** del mismo.

Los errores en las mediciones se clasifican en estáticos y dinámicos.

Los errores **estáticos** son los que tienen lugar cuando se miden magnitudes constantes, después que se ha realizado un proceso transitorio en los elementos del instrumento.

- Sistemáticos

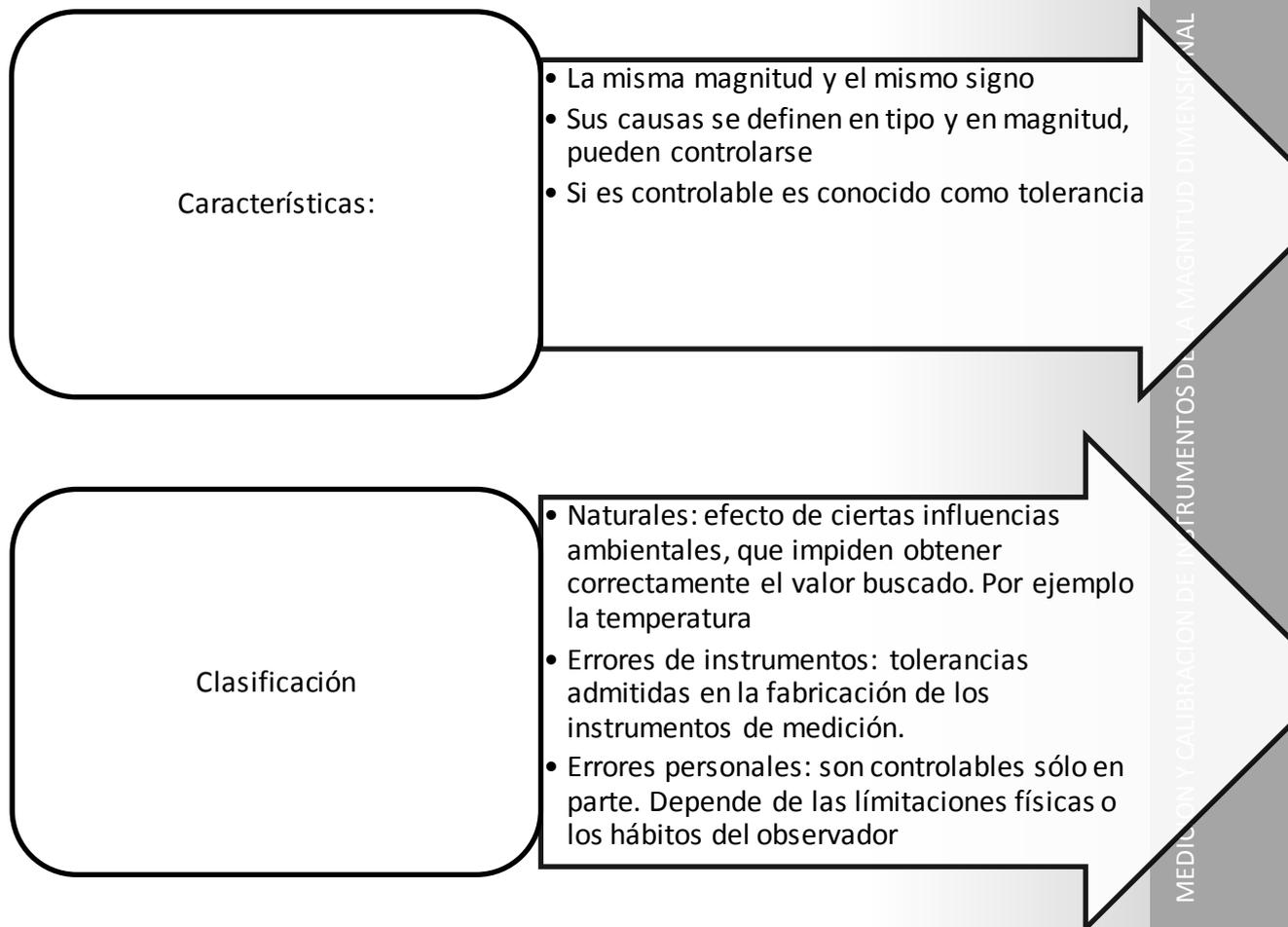


Figura 11. Errores sistemáticos

- Errores aleatorios: Son aquellos que varían de forma imprevisible, tanto en valor absoluto como en signo, cuando se efectúan varias mediciones de una misma cantidad de magnitud física en condiciones que resulten prácticamente idénticas.

Estos errores fortuitos no son controlables, porque no pueden determinarse, son inevitables y siempre la medición realizada se verá afectada por ellos.

Los errores aleatorios son, en la generalidad de los casos, pequeños; pueden ser positivos o negativos, y existe la misma probabilidad de que su signo sea de uno u otro tipo. Su presencia se indica en una serie de mediciones, por la aparición de pequeñas diferencias entre las lecturas tomadas durante la realización de las mediciones.

Los errores aleatorios, son los causantes de la incertidumbre del resultado de la medición.

Determinación del error de medición.

En un proceso de medición, según ISO 10012 se plantea que:

$$\frac{\text{Tolerancia tecnológica del proceso}}{\text{Exactitud del instrumento}} \geq \frac{3}{1}$$

De manera que los efectos sistemáticos pueden despreciarse en el proceso de medición, por lo tanto sólo afectarían los efectos de naturaleza aleatoria que son totalmente impredecibles.

Error absoluto = valor leído – valor convencionalmente verdadero

En una serie de lecturas sobre una misma dimensión constante, la inexactitud o puede estimarse a partir de la diferencia entre los valores máximo y mínimo obtenidos en una serie de mediciones en condiciones de repetibilidad.

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:

$$\text{Incertidumbre} = \frac{5,6 - 5,3}{\sqrt{3}} = 0,173 \text{ mm}$$

Los errores absolutos de cada lectura serían:

5,5 – 5,4 = + 0,1 mm; 5,6 – 5,4 = + 0,2 mm; 5,5 – 5,4 = + 0,1 mm;

5,6 – 5,4 = + 0,2 mm; 5,3 – 5,4 = - 0,1 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 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:

$$0,1/5,4 = 0,0185 = 1,85\%; \quad 0,2/5,4 = 0,037 = 3,7\%; \quad 0,1/5,4 = 0,0185 = 1,85\%;$$

$$0,2/5,4 = 0,037 = 3,7\%; \quad -0,1/5,4 = -0,0185 = -1,85\%$$

2. Clasificación de los 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 causados 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). Estos pueden ser deformaciones, falta de linealidad, imperfecciones mecánicas, falta de paralelismo, etcétera. El error instrumental tiene valores máximos permisibles, establecidos en normas o información técnica de fabricantes de instrumentos, y puede determinarse mediante calibración. Esta es la comparación de las lecturas proporcionadas por un instrumento o equipo de medición contra un patrón de mayor exactitud conocida. (Véase la figura 1)

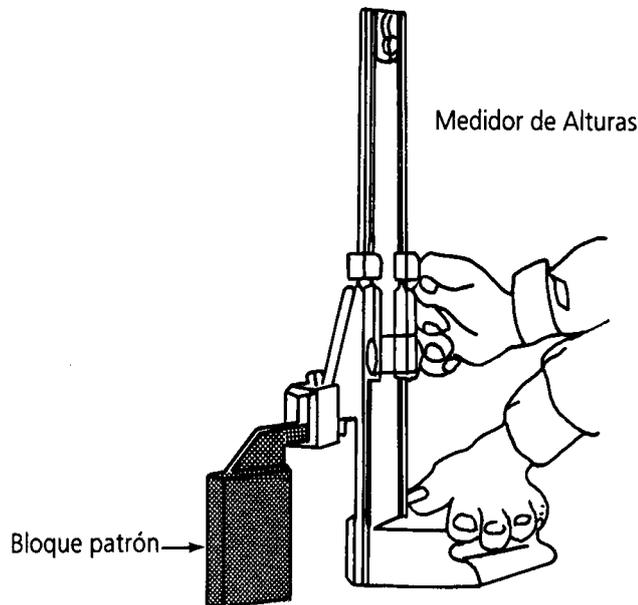


Figura 12. Medidor de Alturas

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 es debido 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 a medir, el instrumento o ambos, por lo tanto dicha fuerza es un factor importante que debe considerarse para elegir, adecuadamente el instrumento de medición en 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 2).

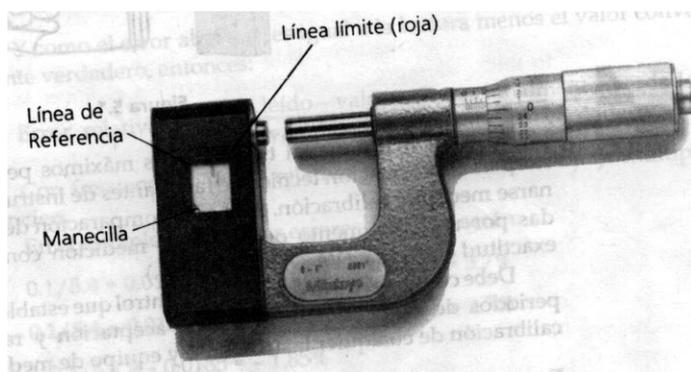


Figura 13. Micrómetro de exteriores

Error por el uso de instrumentos inadecuados: 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 3 abarcando desde un simple calibrador 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.

Errores por método de sujeción del instrumento: El método de sujeción del instrumento puede causar errores. 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 que plantea: la máxima exactitud de medición es obtenida si el eje de medición es el mismo del eje del instrumento.

En la figura se 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.

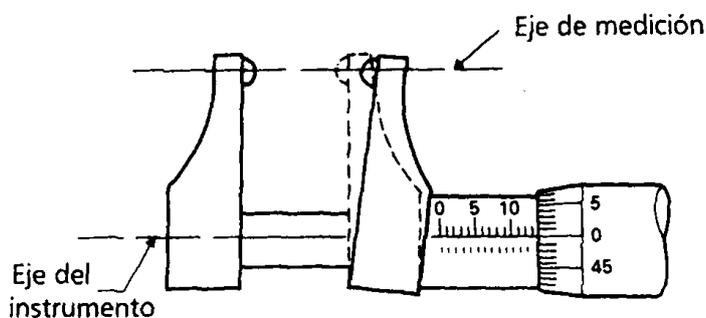


Figura 14. Micrómetro tipo calibrador

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

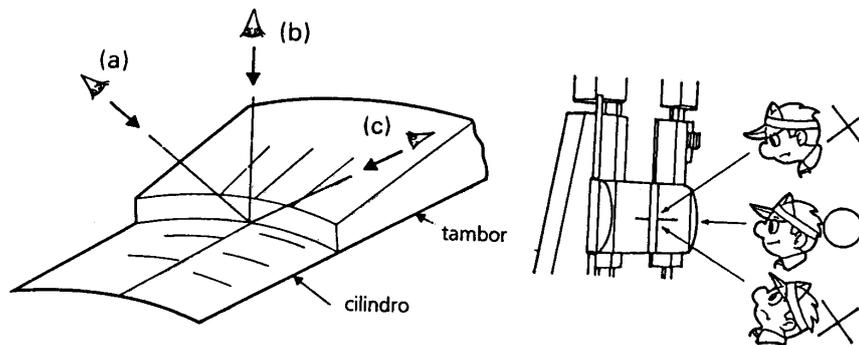


Figura 15. Error de paralaje

El error de paralaje es más común de lo que se cree. 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.

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 debido a polvo o mugre se observan con mayor frecuencia de lo esperado, algunas veces alcanzan el orden de 3 μm . 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 1 μm . 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 establezca la temperatura. 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.

3. Influencia de la temperatura en las mediciones de longitud y ángulo.

Puesto que las dimensiones de los cuerpos sólidos varían al cambiar la temperatura a la que se encuentran, para definir las longitudes de los patrones, instrumentos de medida y dimensiones de las piezas, es necesario convenir una temperatura determinada a la cual se entiendan medidas las longitudes de estos cuerpos.

Las temperaturas de referencia se miden en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

El metro patrón y sus derivados se definen y comprueban a la temperatura de 0°C .

En los países miembros de la ISO (Organización Internacional de Normalización) las dimensiones indicadas en los planos se suponen medidas a una temperatura de 20°C , los instrumentos de verificación y medida están ajustados y se comprueban a esta temperatura de 20°C y a la misma se le da el nombre de temperatura de referencia.

En las salas de metrología se mantiene constante la temperatura ambiente a la temperatura de referencia, y para evitar errores en las mediciones y comprobaciones debidas a efectos de dilatación, las máquinas e instrumentos de medición se protegen, con pantallas caloríficas, de la radiación calorífica de los operadores, y los instrumentos de medición manuales se proveen de empuñaduras aislantes.

Antes de realizar una medición o comprobación sobre una pieza o patrón es necesario esperar que su temperatura se iguale con la de los instrumentos de medición.

Corrección de las mediciones efectuadas a temperaturas distintas de las de referencia: La medida de una longitud hallada a temperatura distinta de la referencia (20°C) debe corregirse para conocer la medida a esta temperatura.

La corrección se realiza por cálculo aplicando la fórmula:

$$L_t = L_{20} [1 + \alpha(t - 20)]$$

En la que L_{20} es la longitud del patrón o pieza a la temperatura de referencia, L_t la longitud del mismo a la temperatura t de medición y α el coeficiente de dilatación del material.

En la tabla 2 se dan los coeficientes de dilatación medios de los materiales metálicos más corrientes. Para los aceros de calibres se pueden tomar $\alpha = 11,5 \times 10^{-6}$, de no haber indicación en contra por parte del fabricante.

Cuadro 2. Coeficientes de dilatación de medios materiales metálicos

Metal	Coefficiente de dilatación
Acero suave	$10,5 \times 10^{-6}$
Acero templado	12×10^{-6}
Aluminio	22×10^{-6}
Bronce	$16 \text{ a } 20 \times 10^{-6}$
Cobre	16×10^{-6}
Latón	18×10^{-6}
Invar	$1,3 \times 10^{-6}$
Magnesio	24×10^{-6}

Si el material de la pieza que se mide tiene el mismo coeficiente de dilatación que el patrón de comparación, no es necesario hacer corrección ninguna, como tampoco es necesario si la diferencia entre los coeficientes es tan pequeña que el error cometido por esa causa queda dentro de unos límites aceptables.

Si los materiales de la pieza y el patrón tienen diferentes coeficientes de dilatación y la medición se hace a temperatura distinta de la de referencia, deberá hacerse el cálculo de corrección para determinar la cota correspondiente a la temperatura de referencia. El cálculo se basa en lo siguiente.

Al hacer la medición a la temperatura t , se obtiene una longitud L_t igual para la pieza que para el patrón o regla con que se verifica la medición. Ahora bien, llamando L_{20} a la longitud del patrón a 20°C y L'_{20} a la longitud de la pieza a 20°C , se tendrán las ecuaciones siguientes:

$$L_t = L_{20} [1 + \alpha (t - 20)]$$

$$L_t = L'_{20} [1 + \alpha' (t - 20)]$$

$$L_{20} [1 + \alpha (t - 20)] = L'_{20} [1 + \alpha' (t - 20)]$$

De donde se deduce la fórmula:

$$L'_{20} = \frac{L_{20} [1 + \alpha (t - 20)]}{[1 + \alpha' (t - 20)]}$$

que permite calcular la longitud L'_{20} de la pieza a la temperatura de referencia conociendo: L_{20} , que es la longitud nominal del patrón o la lectura de la regla al efectuar la medición, los coeficientes de dilatación α y α' de los materiales de la regla patrón y de la pieza, y la temperatura t a la que se realiza la medición

4. Ejercicios

1. Cuatro tipos de errores que se pueden dar en las mediciones son
2. ¿Porqué considera usted que es importante tener un control sobre las condiciones ambientales? ¿Influye esto en los resultados de las mediciones?

6

BLOQUES PATRON Y MARMOLES.

VERIFICACION DE PLANITUD

1. Patrones de caras paralelas o galgas (bloques) patrón

Los patrones de caras paralelas, más corrientemente conocidos con los nombres de galgas patrón, galgas Johansson o medidas (bloques) planoparalelas, fueron perfeccionados e introducidas en la industria por el ingeniero sueco de este nombre.

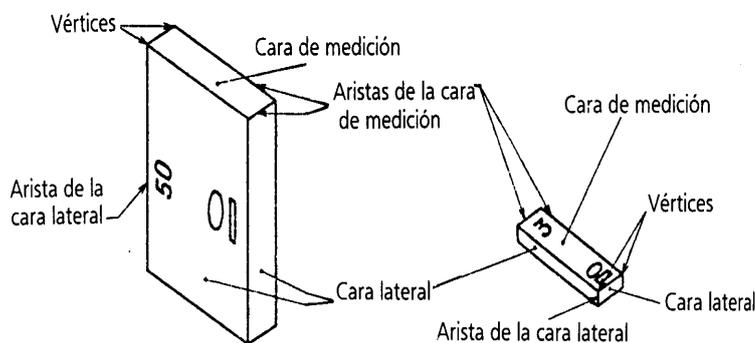


Figura 16. Bloques patrón

Estos patrones están constituidos por pequeños bloques paralelepípedicos de acero templado y estabilizado de gran dureza. Todas las caras de estos bloques están finamente rectificadas y dos de ellas están lapiadas (acabado de espejo), siendo perfectamente planas y paralelas, distando entre si la longitud nominal grabada sobre el patrón a la temperatura de referencia de 20 ° C.

La particularidad más importante de estos patrones es la de que se puedan agrupar por superposición, de modo que la longitud del grupo formado queda dentro de los límites de exactitud requeridos para su empleo como patrón. Esta cualidad hace que con un número relativamente pequeño de patrones se puedan formar un número tal de que satisfaga todas las

necesidades del laboratorio o taller en cuanto a patrones para la calibración de instrumentos y aparatos de medición de longitud.

Requerimientos o exigencias que deben cumplir los bloques patrón

1. Exactitud dimensional y geométrica (longitud, planoparalelismo).
2. Capacidad de adherencia con otras galgas o bloques.
3. Buen acabado superficial.
4. Estabilidad dimensional a través del tiempo.
5. Ser duros y resistentes al desgaste.
6. Coeficiente de expansión térmica cercano al de los metales comunes.
7. Resistentes a la corrosión.

2. Clasificación de los bloques patrón

Los bloques patrón se clasifican en términos de exactitud según el cuadro, la cual muestra guías para seleccionar el grado adecuado y satisfacer diferentes aplicaciones.

CUADRO 3. CLASIFICACIÓN DE BLOQUES PATRÓN SEGÚN GRADO DE EXACTITUD

CLASIFICACION	USO	GRADO			
		JIS-ISO-DIN		FED, SPEC, ANSI	
Referencia	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Investigación tecnológica y científica ✓ Calibración de bloques patrón 	00		0.5	
Calibración	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Calibración de instrumentos de medición ✓ Calibración de bloques patrón 	0	00	1	0.5
Inspección	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspección de partes, máquinas, herramientas, etc. ✓ Calibración de instrumentos de medición 	1	2	2	3
Taller	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fabricación de dispositivos ✓ Inspección de instrumentos de medición ✓ Montaje de herramientas de corte 	2	1	3	2

MEDICION Y CALIBRACION DE INSTRUMENTOS DE LA MAGNITUD DIMENSIONAL

Exactitud de los bloques patrón.

La posibilidad de utilizar como patrón combinaciones de galgas de caras planoparalelas está fundamentada en la gran exactitud con que están fabricadas estas galgas, así como en la posibilidad de calcular el error máximo que puede producirse en una combinación determinada.

- Desviación máxima permisible de planoparalelismo de los bloques patrones: En las galgas, las desviaciones máximas permisibles de planoparalelismo entre las caras se calcula por las fórmulas siguientes:

Cuadro 4. Fórmulas de acuerdo de grado de exactitud

Clase	Fórmula (μ m)
00	(0,05 + 0,2L)

0	$(0,10 + 0,3L)$
1	$(0,16 + 0,45L)$
2 y 3	$(0,30 + 0,7L)$
4 y 5	$(0,60 + 1,4L)$

donde L es el valor de la longitud nominal del bloque planoparalelo expresado en metro (m)

3. Procedimiento de adherencia.

Las galgas patrón se presentan y utilizan como juegos o colecciones de un número determinado de galgas de dimensiones escalonadas en tal forma, que combinando un número muy reducido de ellas (de 3 a 5) puede lograrse cualquier medida comprendida entre sus límites de empleo.

- Utilice el mínimo número de bloques patrón para formar la medida deseada.
- Seleccione bloques gruesos siempre que sea posible.
- Seleccione bloques patrón empezando con uno que tenga el mínimo dígito significativo requerido y entonces seleccione secuencialmente dígitos más significantes (ver ejemplos 1 y 2).

Ejemplo 1:

Si tratáramos de formar la medida 37.425 mm procederíamos seleccionando sucesivamente las galgas 1.005 mm; 1.02 mm; 1.4 mm; 4 mm y 30 mm, que aplicadas nos darían la dimensión buscada:

$$1,005 + 1,02 + 1,4 + 4 + 30 = 37,425$$

Ejemplo 2:

Cómo seleccionar bloques patrón para construir el tamaño deseado (35,745 mm).

Cuadro 5. Selección de combinación de bloques patrón

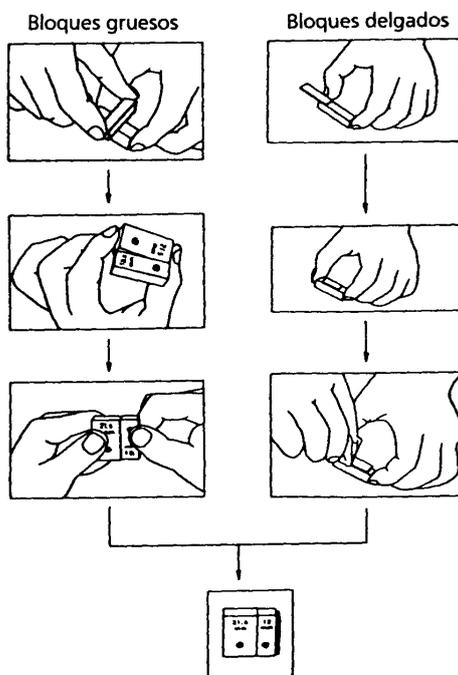
Orden de combinación	(A)	(B)	(C)
(1)	1,005	1,005	1,005
(2)	1,24	1,24	1,24
(3)	13,5	16,5	15,5
(4)	20	17,0	18,0
	35,745	35,745	35,745

Métodos para realizar la adherencia de las medidas planoparalelas y cuidados que deben tenerse en cuenta.

- a) Los bloques patrón deben manejarse sobre una placa de madera blanda o tela.
- b) Limpie el aceite de conservación con un trapo limpio humedecido con gasolina u otro solvente apropiado y cuidando no rayar las caras.
- c) 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. Estas deben verificarse utilizando el plano óptico.
- d) Antes de unir las medidas, limpie las caras de tal manera que estén libres de polvo.
- e) Aplique una pequeña cantidad de aceite de baja viscosidad en la cara de medición y distribúyala uniformemente sobre la superficie de la medida.
- f) Cuando adhiera bloques gruesos, coloque los dos bloques patrón en ángulo recto uno con otro y gírelos a 90 °C mientras los presiona ligeramente. Si la condición de las caras de contacto es perfecta, los bloques patrón pueden adherirse adecuadamente. 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.

- g) Si se detecta una anomalía en la unión hay que deshacerla y comprobar las caras de medición.
- h) 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.
- i) Si el bloque patrón cae y su cara se raspa, la raspadura debe corregirse.
- j) 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.
- k) 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 local o laboratorio.



patrón

Figura 17. Formas de acoplar los bloques

Uso de los bloques patrón

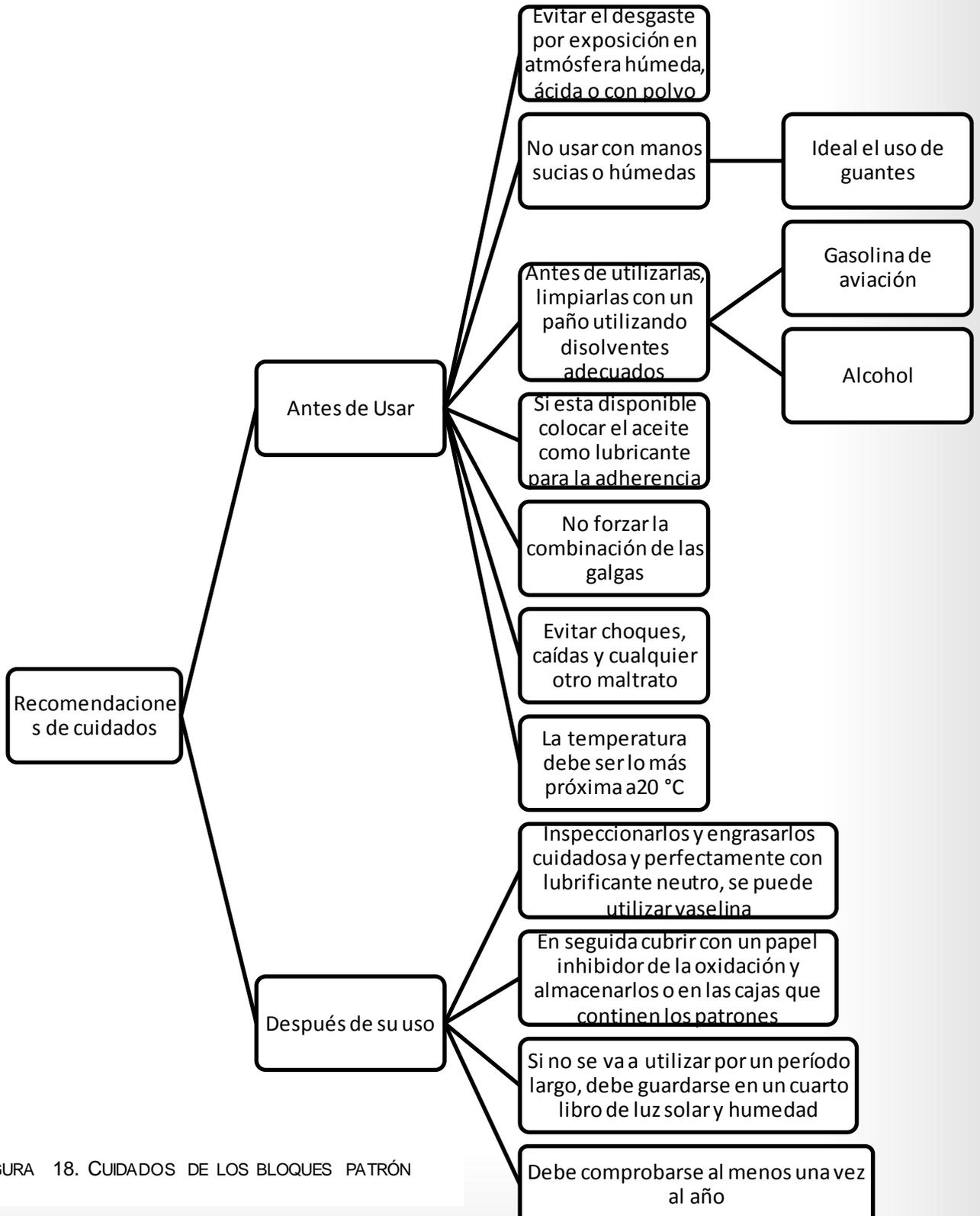


FIGURA 18. CUIDADOS DE LOS BLOQUES PATRÓN

4. Verificación de la planitud en bloques aplicando el método de franjas de interferencia luminosa

Este método sólo se aplica a pequeñas superficies planas lapiadas que tengan un pulido especular tales como:

- caras de referencia de galgas patrón,
- topes planos de calibres,
- palpadores de medida,
- platinas de aparatos de medición

La superficie a comprobar se pone en contacto con un plano óptico (superficie de un disco de vidrio perfectamente plano y pulido) y se ilumina con luz monocromática, la luz emitida por una lámpara de sodio, por ejemplo. En esta forma aparecen una serie de líneas oscuras, alternando con líneas claras, correspondientes a las líneas de la superficie a comprobar que se encuentran a igual distancia de la superficie de referencia de vidrio, es decir, a las distintas líneas de nivel con respecto al plano óptico.

La forma y disposición de las franjas de interferencia, líneas oscuras, nos dan una idea de la forma de la superficie que se verifica. Así si la superficie es plana y el vidrio se coloca formando un ángulo muy pequeño con ella aparecerán una serie de franjas paralelas y equidistantes, que desaparecen cuando el vidrio se hace coincidir con la superficie.



Figura 19. Placa planoparalela de vidrio

En la figura que se presenta a continuación se muestra esquemáticamente las formas y disposiciones de las franjas de referencia para distintos casos de superficies no planas.

Este método permite mediciones cuantitativas de las diferencias cuantitativas de la superficie a comprobar con respecto al plano óptico que se toma como patrón. En efecto las franjas de interferencia corresponden a las líneas de nivel de la superficie controlada y las diferencias de nivel entre dos franjas en una longitud determinada, función de la longitud determinada, función de la longitud de onda de la luz empleada, precisamente igual a la mitad de esa longitud de onda. Así, si, por ejemplo, se utiliza luz monocromática de longitud de onda de $0,6 \mu\text{m}$, la diferencia de nivel entre los puntos correspondientes a dos líneas de interferencia inmediatas será de $0,3 \mu\text{m}$ aproximadamente.

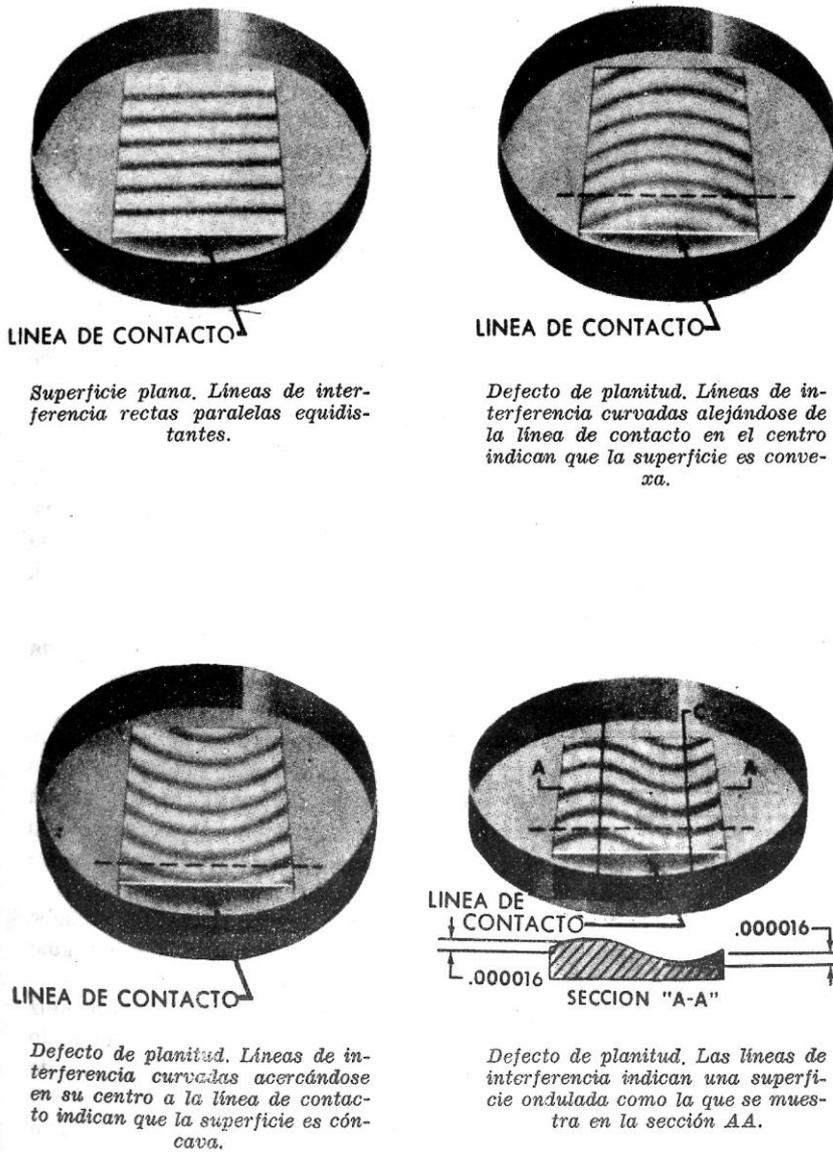


FIGURA 20. DEFECTO DE PLANITUD

5. Mármoles.

Se da el nombre de mármol a todo elemento de verificación utilizado para materializar un plano. Sus formas son diversas según el uso a que se destinan. Pueden distinguirse principalmente platinas o mesas de medida y los mármoles de control.

Las platinas o mesas de medida forman parte de los aparatos de medición, tales como comparadores, a los que proporcionan un plano de referencia para efectuar las mediciones. Se fabrican de acero, de calidades similares a los empleados en la fabricación de calibres, templado y estabilizado; la superficie plana es rectificada y lapiada. La exactitud de la planitud es variable según sus dimensiones, pero generalmente, es del mismo orden que la de las galgas patrón. La superficie plana está provista de ranuras que permiten la eliminación del aire al colocar las galgas sobre ella y la eliminación del polvo o suciedad.

Los **mármoles** de control son piezas de mayor tamaño. Su forma es la de una gruesa placa rectangular, con una cara perfectamente plana y pulida y la cara opuesta provista de nervios de gran profundidad para dar rigidez a la placa. Se construyen generalmente de fundición perlítica de alta calidad resistente al desgaste y estabilizada para que conserven su precisión de origen.

Los mármoles se apoyan sobre tres puntos para evitar el posible alabeo que pudiese producirse por un cambio accidental en la repartición de los puntos de apoyo. En los mármoles de grandes dimensiones que necesitan estar sostenidos por más de tres puntos de apoyo, éstos deben reposar sobre gatos o tornillos de reglaje fino, de forma que pueda asegurarse una nivelación correcta del mármol sin alabeo del mismo. Para evitar además el riesgo de una falla del terreno, se montan sobre una base o apoyo de hormigón.



Figura 21. Mármoles

Mármoles fabricados con materiales especiales.

Además de los mármoles de fundición descritos, se utilizan también los mármoles de piedra natural. Se han comenzado a utilizar mármoles de alúmina cristalizada aglomerada con producto cerámico, Los mármoles de granito negro de calidad seleccionada presentan una serie de ventajas inherentes al material de que están hechos como son

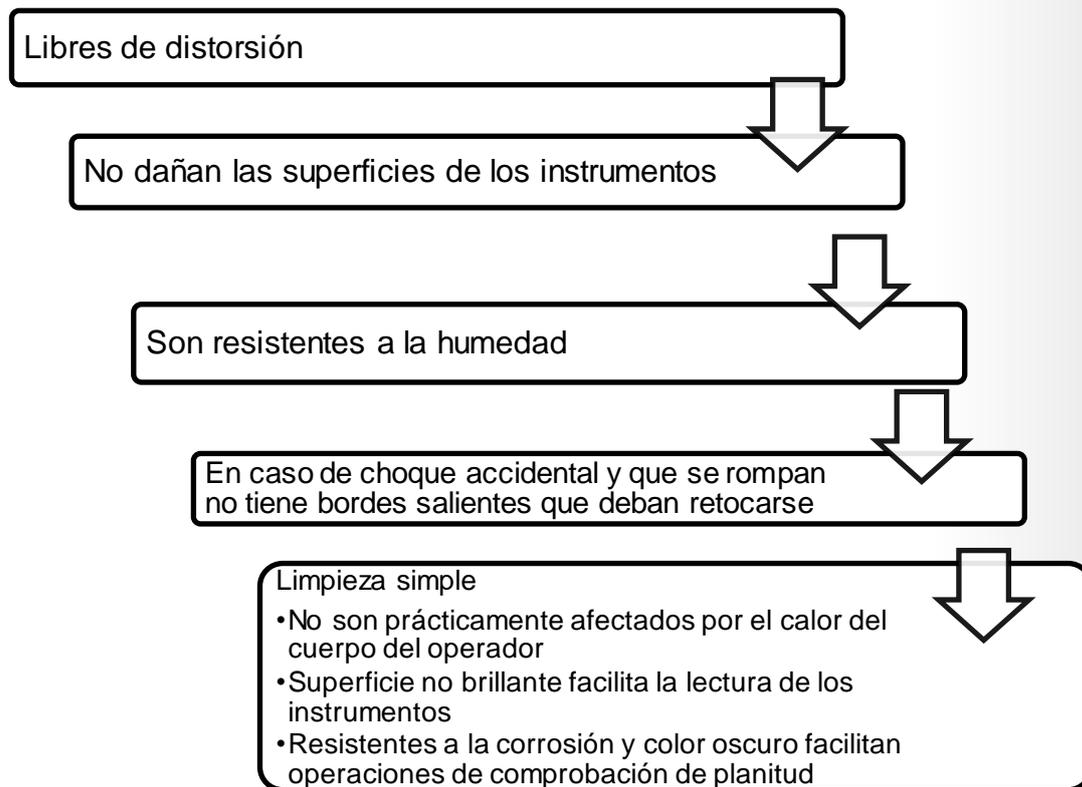


Figura 22. Características de los mármoles

Fabricación de los mármoles

Como se ha indicado, el material corrientemente empleado para la fabricación de los mármoles es la fundición perlítica. A continuación se muestran como ejemplo dos composiciones recomendadas por las normas inglesas:

Cuadro 6. Materiales utilizados en la elaboración de mesas de mármol

Verificación de la planitud.

La verificación de la planitud, o condición de ser plana una superficie, se realiza comparándola con un plano de referencia.

El plano que se toma como referencia puede ser un patrón de plano o un plano imaginario determinado por tres puntos, por un nivel o por un instrumento óptico tal como un anteojo. Los métodos prácticos son muy diversos y cada uno tiene su aplicación específica a distintos casos.

Los métodos de verificación por comparación con un patrón plano, utilizan como tal un mármol o un vidrio óptico de caras planas y paralelas. Se emplean estos métodos preferentemente para la comprobación de superficies planas no muy extensas, para verificar su estado de planitud durante o después del trabajo de ajuste por rasquetado o de operaciones de superacabado.

Los métodos de verificación que utilizan un plano ideal de referencia, son preferentemente utilizados para la comprobación de superficies de dimensiones grandes y cuando se quiere determinar cuantitativamente las diferencias entre la superficie que se comprueba y un plano geométrico.

A continuación estudiaremos con detalle algunos de los procedimientos más utilizados para la verificación de la planitud.

- Verificación de la planitud con un mármol. Marmoleado: se aplica a la comprobación de superficies en curso de ajuste por rasquetado o pulido. Consiste en llenar la superficie de un mármol utilizado como plano patrón, con una capa fina y uniforme de un líquido o pasta coloreada y colocarla en coincidencia con la superficie a verificar. Haciendo deslizar una de las superficies con relación a la otra en distintas direcciones, el colorante es expulsado de las zonas de apoyo o contacto a causa de la mayor presión que hay en ellas. Después de separar las superficies con relación a la otra en distintas direcciones, el colorante es expulsado de las zonas de apoyo o contacto a causa de la mayor presión que hay en ellas. Después de separar las superficies, los puntos de apoyo aparecen brillantes por el frotamiento y rodeados del colorante empleado.

Estos puntos de apoyo son los más altos de la superficie que se comprueba y los que deben reducirse por rasquetado o por pulido para ir aumentando la planitud de la superficie por sucesivas aproximaciones.

La presentación de las superficies puede hacerse de dos maneras. Las piezas pequeñas y medianas se presentan sobre un mármol patrón, mientras que para las piezas más grandes, tales como bancadas de

máquinas herramientas, el patrón es el que se coloca sobre la superficie a verificar.

El colorante empleado es una suspensión de minio, sanguina o azul de prusia en aceite mineral. Debe ser de grano muy fino y uniforme y libre de granos duros de sustancias extrañas, que podrían producir rayas en la superficie del mármol y de la pieza que se verifica. Se extiende sobre el mármol por medio de un tampón o muñeca empapada de la suspensión colorante.

La precisión de la verificación está limitada por el mármol patrón, por la rigidez del mismo y de la pieza y por el espesor de la capa colorante, que debe ser muy fina y bien uniforme. Por otra parte debe tenerse en cuenta que la verificación por este procedimiento no indica el espesor de metal a quitar y el trabajo de acabado del plano se realiza por aproximaciones sucesivas.

En este estado las superficies de los dos mármoles B y C continuarán siendo probablemente el uno cóncavo y el otro convexo, pero más cercanas a la superficie plana

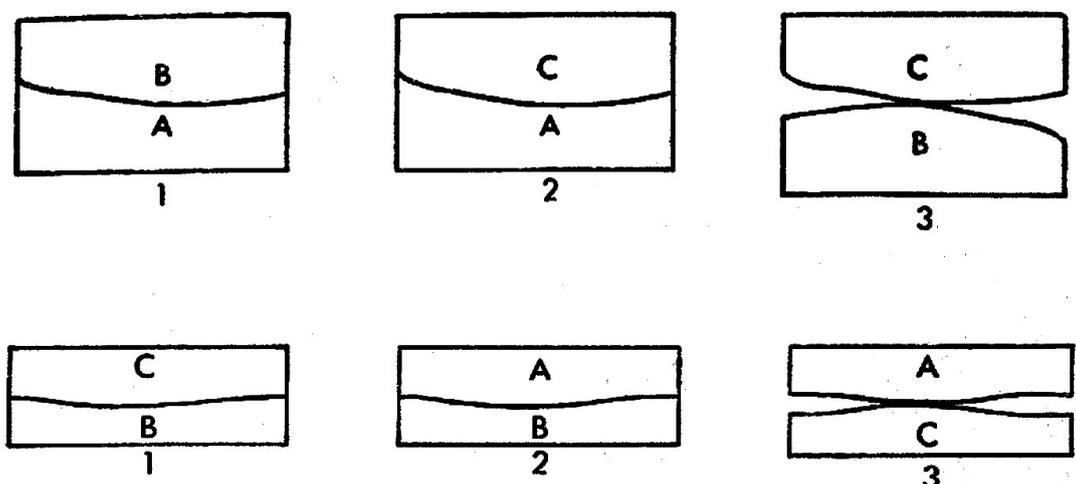


Figura 23. Método de verificación de planitud en mesa de mármol

El mármol B se toma entonces como patrón para ajustar el A (2 de la figura 10) la presentación de A sobre C manifestará el doble del error de planitud de B (3 de la figura 10). Se retocarán entonces A y C, como anteriormente se hizo con B y C, y este último mármol se escogerá seguidamente como nuevo patrón.

Se ve que cuando los tres mármoles, aparejados dos a dos en todas las posiciones y en cada una de las tres combinaciones posibles, muestran un apoyo perfecto, cada uno de ellos será plano patrón.

Para poner de relieve un posible alabeo helicoidal de los mármoles deben hacerse dos presentaciones en cruz por cada combinación.

Este procedimiento es largo y exige operar cuidadosa y metódicamente para obtener un resultado correcto. Hay que tener en cuenta también que la precisión obtenida está influida por la rigidez de los mármoles que se ajustan.

6. Ejercicios

Determine el error máximo permisible para un los siguientes bloques patrón:

- a) Bloque de 10 mm, 75 mm y 400 mm grado 00
- b) Bloque de 25 mm, 150 mm y 1000 mm grado 1
- c) Bloque de 200 mm, 500 mm y 800 mm grado 0
- d) Bloque de 50 mm, 300 mm y 600 mm grado 1

7

MEDICION Y CALIBRACION DE PIE DE REY

(VERNIER)

1. Aspectos generales

Definición.

Vernier: El Vernier significa la escala graduada para leer la graduación de la escala principal con divisiones más finas, obtenidas al dividir igualmente $n-1$ graduaciones de la escala principal por n ó $n/2$.

Pie de Rey (Vernier).

Los calibradores vernier pertenecen al grupo de los instrumentos mecánicos sencillos, se fabrican en la actualidad una amplia gama de modelos, deben su nombre al vernier que es una escala auxiliar que se desliza a lo largo de la escala principal, entre ambas escalas existe una relación de proporcionalidad en la distancia entre sus trazos lo que facilita lograr lecturas de fracciones de división de la escala principal. Este sencillo mecanismo permite en la práctica del taller obtener lecturas rápidas con un grado de exactitud que puede ser adecuado según el uso.

Mecanismo de los instrumentos con escala Vernier.

El vernier es una construcción auxiliar que eleva la exactitud del valor de la escala principal del instrumento de medición. El principio de su funcionamiento consiste en las coincidencias de los trazos correspondientes de dos escalas desiguales lineales, escalas principal y auxiliar. La distancia en la que se diferencian los trazos es el valor de división del vernier.

En el vernier sencillo con valor de división de 0,1 mm, la escala posee un largo de 9 mm (figura 1a). En ella se encuentran 10 divisiones. La distancia entre dos trazos consecutivos del vernier es de $9/10 = 0,9$ mm.

Por lo tanto, el intervalo entre las divisiones del vernier será menor que el intervalo de las divisiones de la varilla en 0,1 mm.

Tipo de escala Vernier				
Tipo de Vernier	n	Ep	Ev	
		En milímetros		
a	10	1	0,9	0,1
b	20	1	0,95	0,05
c	50	1	0,98	0,02

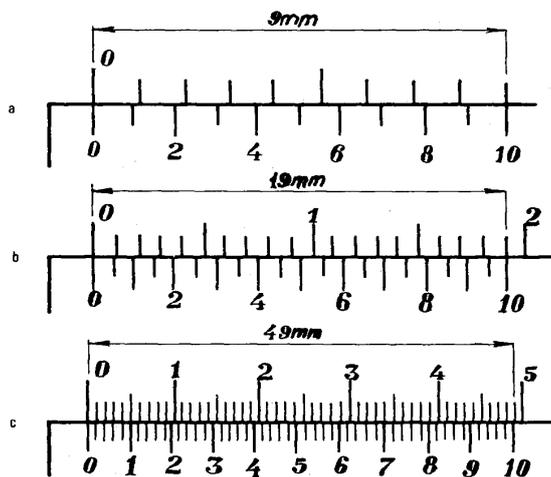


Figura 24. Lectura de escala de vernier

En este caso, cuando las divisiones cero del vernier y la escala principal coinciden, el primer trazo del vernier queda detrás del primero de la escala principal, en 0,1 mm: la segunda en 0,2 mm; etcétera. Si la división cero del vernier no coincide con algunas de las escalas principales, esto significa que la dimensión medida es mayor de un número entero de milímetro leído en la escala principal, es decir, que además de los milímetros enteros, posee también una parte fraccionaria. Esta se determina de la siguiente forma: anteriormente se dijo que cada división del vernier tiene una diferencia de 0,1 mm. En el ejemplo, entre la sexta división de la varilla, la diferencia es de 0,6 mm. Cuando el sexto trazo del vernier coincide con el trazo de la escala principal, significa que la diferencia con el número entero de milímetro en la escala principal anterior al cero del vernier es de 0,6 mm.

La escala analizada no es cómoda para el uso práctico, ya que los trazos están muy cerca unos de otros. Por eso la mayoría de los instrumentos de

varilla con valor de división de 0,1 mm tienen una escala llamada **escala larga**, cuya longitud es de 19 mm. El intervalo de división en este caso es de $19/10 = 1,9$ mm, lo cual supone también una diferencia de 0,1 mm con la segunda división de la varilla.

Como determinar la exactitud de los Pie de Rey (Vernier)

Un pie de rey que tiene la escala del vernier de longitud 19 mm, dividida en 20 partes iguales y el valor de división de la escala principal es igual a 1mm.

2. Ejercicios

1. Realice los siguientes cálculos:

- a) Un pie de rey analógico tiene una longitud de 150 mm, dividido en 15 partes iguales y el valor de división de la escala principal es igual a 0,5 mm. Calcule el valor de división del vernier y la exactitud obtenida.
- b) Un pie de rey analógico tiene una longitud de 75 mm, dividido en 9 partes iguales y el valor de división de la escala principal es igual a 1 mm. Calcule el valor de división del vernier y la exactitud obtenida.

Un pie de rey analógico tiene una longitud de 20 mm, dividido en 10 partes iguales y el valor de división de la escala principal es igual a 0,5 mm. Calcule el valor de división del vernier y la exactitud obtenida.

Tipos de Pie de Rey.

Los pie de rey con vernier se describen en las figuras siguientes además existen de estos tipos con indicación digital e indicadores de esfera o carátula.

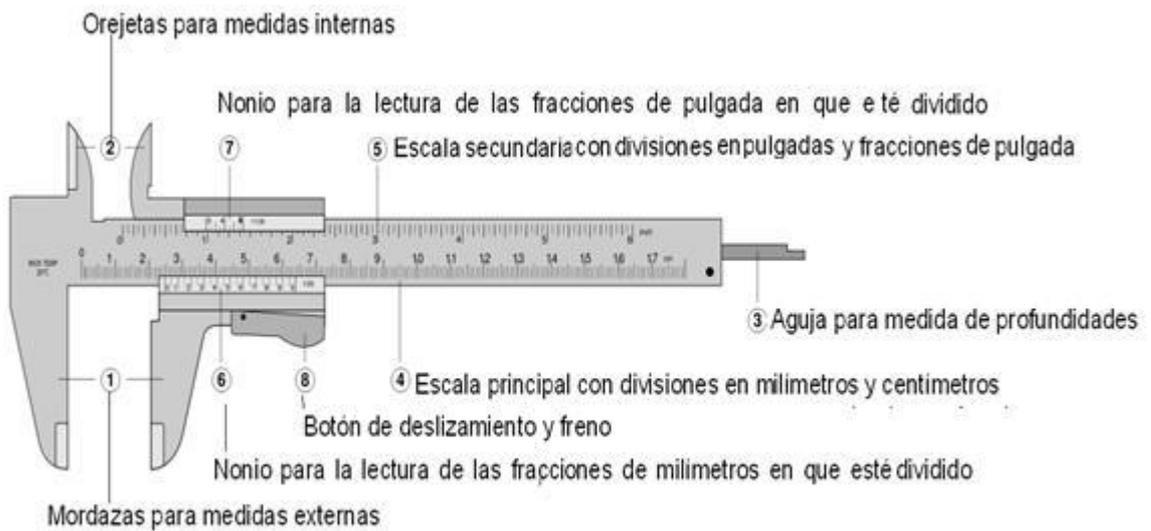


Figura 25. Pie de rey con bocas de medición exteriores, interiores y sonda de profundidad

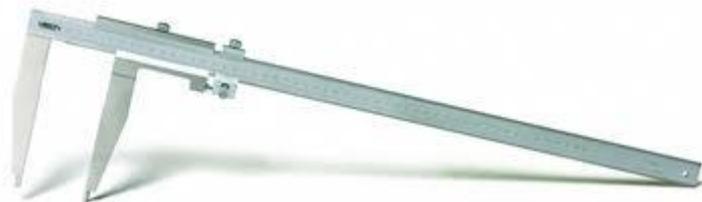


Figura 26. Pie de rey con bocas de medición exteriores y sonda de profundidad



Figura 27. Pie de rey con bocas de medición exteriores e interiores

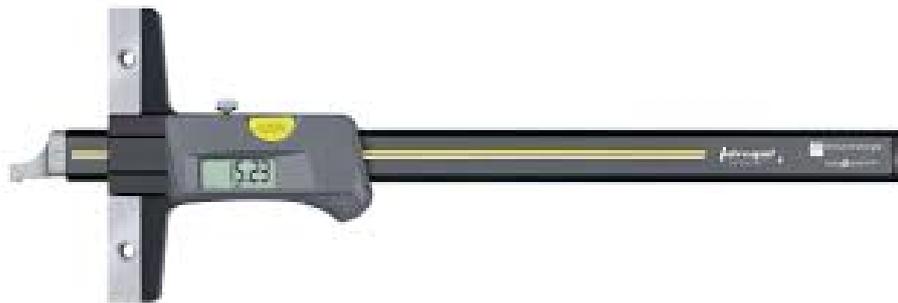


Figura 28. Pie de rey de sonda de profundidad



Figura 29. Pie de rey de altura

Procedimiento para la medición Vernier

- Antes de efectuar la medición es necesario verificar parcialmente el estado del vernier, o sea asegurarse de su corrección.
- En los vernier calibrados las abrazaderas deben unirse sin holgura visible.
- El trazo “cero” en la regla y el del vernier deben coincidir.

- d) El cursor debe desplazarse libremente por la regla sin balanceo ni juego notable.
- e) Debe asegurarse la manipulación correcta del equipo a favor de la calidad de las mediciones. Para esto el vernier se ajusta con la mano por la regla, el cursor se mueve con el dedo pulgar. Es necesario tener cuidado para que desde el inicio se aprenda a sujetar y colocar correctamente los instrumentos, ya que frecuentemente, si no reciben las indicaciones necesarias, los operarios se acostumbran a la forma incorrecta de trabajo.
- f) Las abrazaderas deben cerrarse sobre la pieza de forma que las superficies de medición del instrumento estén en contacto con la pieza sin inclinación. Durante la medición de las superficies exteriores esta inclinación implica un aumento de la dimensión, y en las superficies interiores, una disminución de la dimensión.
- g) Durante el control de las superficies exteriores de las piezas redondas es necesario velar porque las líneas de medición estén perpendiculares al eje de la pieza, y durante el control de las superficies exteriores de las piezas planas, la línea de medición debe estar perpendicular al plano paralelo de la pieza. En caso contrario la indicación estará aumentada.
- h) Es necesario observar esta misma regla durante el control de las superficies cilíndricas interiores, durante la producción de piezas, ya que la línea de medición debe pasar a través de su centro, y durante el control de las superficies paralelas interiores, la línea de medición debe ser perpendicular a estas.
- i) No debemos olvidar que durante la lectura de las dimensiones es necesario observar la escala bajo un ángulo recto, de otra forma habría error como resultado del paralaje. Errores semejantes se encuentran a menudo en la práctica. debajo de la regla.
- j) Las abrazaderas superiores para mediciones interiores pueden ser utilizadas también para los trabajos de trazado.
- k) Las abrazaderas inferiores, por su parte cilíndrica exterior, miden las dimensiones interiores. Tienen un ancho total de 9 o 10 mm. Esta magnitud se marca en las abrazaderas. Durante la medición de las superficies interiores no debe olvidarse que la magnitud indicada de las abrazaderas debe sumarse a la indicación del vernier.

- l) Con ayuda del calibrador vernier provisto de varilla para medir profundidades puede realizarse la lectura por la escala del vernier. La varilla para profundidades, fijada al cursor movable, avanza tanto como se desplace el cursor. De esta forma el instrumento señalado posibilita realizar la medición de la profundidad, posee universalidad, pero no es de muy alta precisión, y por eso puede emplearse solamente para el control de trabajos de poca exactitud.
- m) Durante el control de la profundidad de las piezas es necesario velar porque la varilla de medición de profundidades esté perpendicular en relación con la superficie de la pieza a verificar. Para una medición más precisa de la profundidad y la altura, se emplean calibradores vernier para profundidades, los cuales por su mecanismo se diferencian poco de los calibradores vernier corrientes.
- n) Para la medición de la altura y los trabajos de trazado se emplean el vernier para alturas, los cuales también se diferencian poco de los otros vernier. Ellos en lugar de abrazadera fija, tienen una base maciza con un plano inferior elaborado con exactitud.
- o) Durante la medición o el trazado, el calibrador vernier para profundidades y la pieza se colocan en la placa de verificación o de trazado, y todas las operaciones se realizan sobre ella.
- p) En dependencia de las mediciones realizadas con ayuda del calibrador vernier para alturas se emplean diferentes puntas intercambiables, las cuales se fijan a la parte saliente del marco con ayuda de una abrazadera.

Calibración del pie de rey

Los instrumentos de medición patrones y auxiliares, así como los dispositivos y accesorios que se utilizarán en la ejecución de la calibración de los pie de rey serán los que se establecen en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Instrumentos requeridos para la calibración

No. orden	Instrumentos de medición, dispositivos o accesorios.	Parámetros metrológicos.
1	Regla de canto agudo.	- Longitud: 50; 80 ó 120 mm. 1. clase.

2	Mármol de verificación y de trazado.	- Dimensión: (250 x 250) mm. 1. clase.
3	Micrómetro para exteriores.	- De 0 a 25 mm.
4	Placa plana de vidrio.	- Ø120 mm. 2. clase.
5	Micrómetro de palanca	- De 0 a 25 mm Vd. 1 µm.
6	Juego de bloques planoparalelos	- De 3. clase 5 orden. De 0,5 a 100 mm
7	Lupa de medición con aumento de 10x.	- Vd. 0,1 mm De -7 a +7 mm

Condiciones y preparación para la calibración.

La temperatura en el local donde se realiza la calibración será de (23 ± 5) °C y la humedad relativa máxima permisible de 80 %.

- Preparación para la calibración.

Antes de comenzar la calibración el pie de rey se limpiará con un paño de algodón suave y humedecido con alcohol para eliminar la grasa y suciedades. Si de esta forma no fuera posible la limpieza del instrumento, entonces se lavaría el mismo con una brocha y un solvente adecuado (preferiblemente gasolina de aviación) en un local apropiado para ello. Se secarán con un paño limpio definitivamente.

Los pie de rey ya limpios se colocarán en el puesto de trabajo y se mantendrán como mínimo 3 horas antes de comenzar la calibración en el local o laboratorio donde se efectuará la calibración.

- Operaciones a realizar durante la calibración de los pie de rey.

- a) Examen exterior.
- b) Comprobación del funcionamiento.
- c) Comprobación de la planicidad de las superficies de medición y de las puntas de los pie de rey de altura.
- d) Determinación de la desviación de paralelismo de las superficies planas de medición y de las superficies de medición para interiores

- e) Comprobación de la medida “b” y de la desviación de paralelismo de las generatrices de las mandíbulas cilíndricas para mediciones interiores
- f) Comprobación de la posición “0” del vernier y la regla.
- g) Determinación de la distancia entre las superficies de medición de las mandíbulas para mediciones de interiores en los pie de rey universales.
- h) Comprobación de la desviación de rectitud de las superficies de trabajo de la punta de medición del pie de rey de altura (tipo 6).
- i) Comprobación de la desviación de paralelismo entre las superficies de medición de la punta del pie de rey de altura (tipo 6).
- j) Comprobación de la medida “A” de la punta de medición del pie de rey de altura
- k) Comprobación de la anchura de la superficie superior de la punta de medición del pie de rey de altura.

-Ejecución de la calibración.

- **Examen exterior.**

Durante el examen exterior se comprueba que:

- a) Las superficies de medición de las escalas de la regla y del vernier no presenten rasguños, huellas de corrosión, señales de golpes u otros defectos que afecten el funcionamiento del pie de rey o su lectura.
- b) No exista desgaste de los trazos de la regla por el movimiento del cursor que impidan la lectura.
- c) En los pie de rey con dispositivo de lectura digital los dígitos que aparecen en el display se visualicen claros y legibles.

- **Comprobación del funcionamiento.**

Se comprobará que:

- a) El movimiento de las parte móviles del pie de rey sea suave, sin saltos ni atascamiento.
- b) Los tornillos de fijación del cursor principal y del cursor auxiliar fijen firmemente a los mismos en la posición requerida y no permitan que se desplacen de la misma.

- **Comprobación de la planicidad de las superficies de medición de los pie de rey de todos los tipos**

La desviación de planicidad de las superficies de medición se determina con ayuda de la regla de canto agudo de 1. clase con longitud nominal de 50; 80 ó 120 mm.

Para esta determinación se coloca el bisel de la regla sobre la superficie de medición.

Según sea el caso se coloca el bisel de la regla sobre la superficie de medición en direcciones diagonales a lo largo de la misma.

En el caso de los pie de rey de profundidad el bisel de la regla de canto agudo se coloca sobre la base del pie de rey en posiciones paralelas al lado más largo y perpendicular al mismo y además en dos direcciones diagonales.

En todos los casos antes mencionados se observa a trasluz la no existencia de deformaciones, ni abultamientos apreciables a simple vista en las superficies de medición del pie de rey. Se permiten solamente pequeñas desviaciones de planicidad de forma cóncava siempre y cuando no afecten las mediciones.

- **Comprobación de la desviación de paralelismo de las superficies planas de medición y de las superficies de medición para interiores**

Esta comprobación se ejecuta cerrando completamente las mandíbulas de medición en el límite inferior de medición del pie de rey y, observando a trasluz la no existencia de cuña luminosa entre ambas superficies de medición.

Para el caso de los pie de rey la desviación del paralelismo de las mandíbulas para mediciones de interiores, se realizará con un micrómetro de exterior de 0 a 25 mm de la forma siguiente:

Se ajusta el pie de rey en un valor de 10 mm, se aprieta el tornillo de fijación y se mide en tres posiciones en toda la longitud de dichas mandíbulas con el micrómetro, determinándose la diferencia entre la lectura máxima y la mínima.

De acuerdo a los resultados de está comprobación, se originan dos alternativas:

- a) la primera es continuar la calibración e invalidar el uso de las mandíbulas de interiores reflejándolo en el certificado de calibración (si no hay nada convenido con el cliente),
- b) detener la calibración sugiriéndole al cliente que el instrumento sea reparado.

- **Comprobación de la medida “b” y de la desviación de paralelismo de las generatrices de las mandíbulas cilíndricas para mediciones de interiores**

Se realiza con ayuda del micrómetro de exteriores, manteniendo el tornillo de fijación del cursor apretado. La medida “b” se determina haciendo contacto con las superficies cilíndricas y buscando la máxima medida. Las otras lecturas de la medida “b” serán menores o iguales a la lectura máxima.

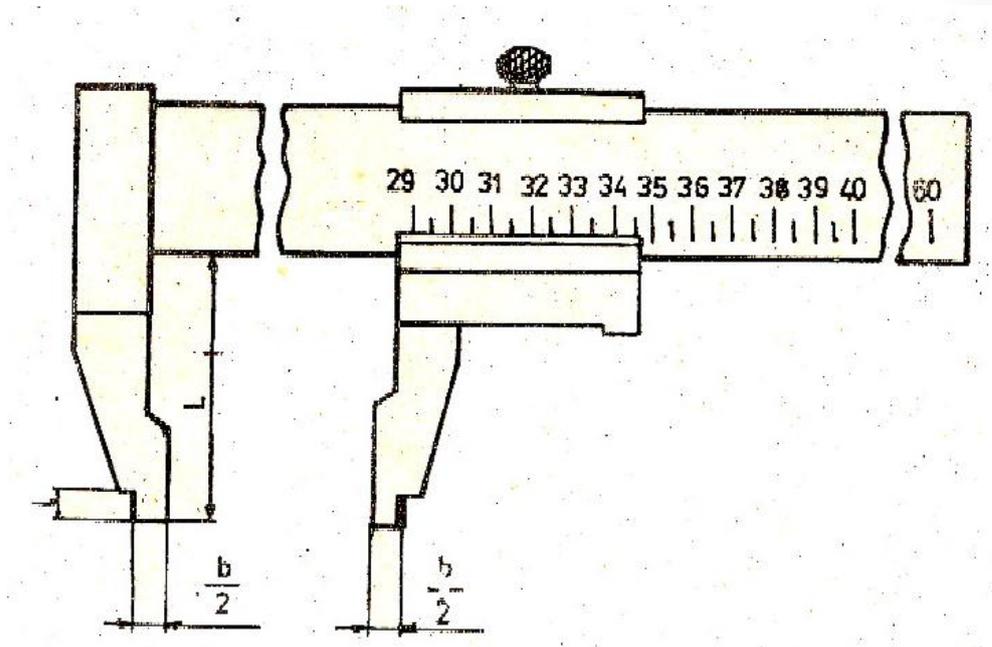


Figura 30. Comprobación de paralelismo de superficies de medición

Se permite un desplazamiento de la línea de medición de la medida “b” con respecto al eje de simetría de las mandíbulas cuando se gira el micrómetro en un ángulo no mayor que 15° , respecto al eje de la regla.

La medida “b” se determina en dos o tres secciones por toda la longitud de las mandíbulas para mediciones interiores.

La diferencia máxima entre las lecturas constituye la desviación de paralelismo.

-Comprobación de la fuerza de desplazamiento de la mandíbula móvil por el cuerpo del pie de rey.

Esta comprobación se realiza desplazando la mandíbula móvil por el cuerpo del pie de rey en todo su recorrido en ambos sentidos y se percibirá si existe algún tipo de atascamiento, resistencia apreciable al desplazamiento o por lo contrario si la mandíbula móvil corre demasiado ligera sobre el cuerpo del pie de rey.

Se considerará conforme siempre y cuando la fuerza de desplazamiento no se encuentre en ninguno de los casos antes mencionado.

-Comprobación de la posición “cero” del vernier y la regla.

Esta comprobación se realiza ajustando el pie de rey en la posición “cero” por la escala del vernier, la misma se realiza con ayuda de una lupa, si es necesario; en los pie de rey con cursor auxiliar con tornillo de avance fino, el ajuste a “cero” se logrará con ayuda del mismo.

La holgura obtenida entre las superficies de medición se compara visualmente con holguras nominales del modelo o patrón de holgura. Esta comprobación se realiza con los tornillos de fijación apretados y sueltos.

Cuando las mandíbulas del pie de rey se encuentran haciendo contacto, los trazos “cero” del vernier y de la regla coincidirán, excepto en los pie de rey que tienen límite inferior de medición mayor que “cero”.

Determinación de la distancia entre las superficies de medición de las mandíbulas para mediciones de interiores en pie de rey universal

Con ayuda de un micrómetro para exteriores y el tornillo de fijación del cursor del pie de rey apretado, después de ajustar el mismo a la medida de 10 mm con ayuda del bloque planoparalelo colocado entre las mandíbulas para mediciones exteriores, se mide la distancia entre las superficies de medición de las mandíbulas para mediciones de interiores.

- Comprobación de la desviación de la rectitud de las superficies de trabajo de la punta de medición para los pie de rey de altura

Esta comprobación se ejecutará colocando el bisel de la regla de canto agudo en dirección longitudinal de las superficies de trabajo superior e inferior de la punta de medición y se observará la no existencia de abultamiento o deformaciones apreciables a trasluz que afecten las mediciones.

- Comprobación de la desviación de paralelismo entre las superficies de medición superior e inferior de la punta de medición para los pie de rey de altura

La comprobación se realiza con un micrómetro de palanca (que posee un indicador), en tres puntos a lo largo de la superficie de medición de la punta del pie de rey.

Se toma como desviación de paralelismo la diferencia entre la menor y mayor lectura obtenida durante la medición.

-Comprobación del valor real de la medida "A" de la punta de medición (para los pie de rey de altura

Esta comprobación se realiza con ayuda del micrómetro de exteriores con rango de medición de 0-25 mm, midiendo la longitud de la medida "A" (ver figura 10).

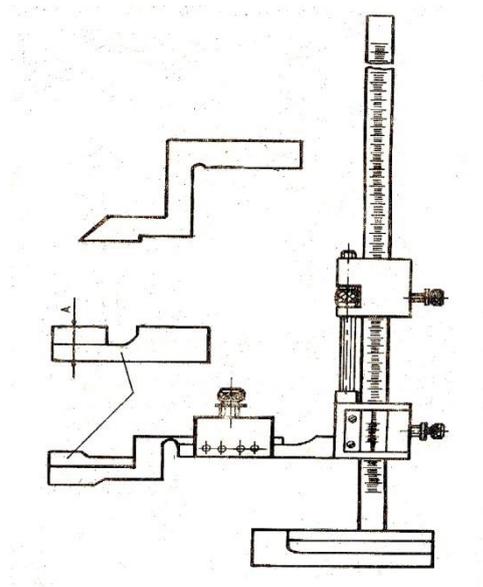


Figura 31. Comprobación de punta de medición en pie de rey de altura

- Comprobación de la anchura de la superficie superior de la punta de medición para los pie de rey de altura.

Esta comprobación se realiza con ayuda de una lupa de medición, mediante la escala grabada en su lente se mide esta longitud.

Determinación del error de indicación de los pie de rey que poseen varilla para mediciones de profundidad

Esta determinación se ejecuta con la ayuda de bloques planoparalelos de 5. orden o de 3. clase con longitud nominal de 20 mm.

Para esto, las dos bloques planoparalelos se colocan sobre una placa plana de vidrio de diámetro 120 mm de 2 .clase o sobre un mármol de verificación liso de 2. clase de (250 x 250)mm. El tope de la regla del pie de rey se pone en contacto con las superficies de medición de los dos bloques planoparalelos. La varilla o sonda para mediciones de profundidad se mueve hasta que haga contacto con la superficie de trabajo de la placa plana de vidrio o del mármol de verificación y se toma la lectura.

-Determinación del error de indicación de los pie de rey.

La determinación del error de indicación de los pie de rey de cualquier tipo se realiza con ayuda de bloques planoparalelos.

- Para los pie de rey con valor de división de 0.01; 0.02 y 0.05 mm se determina el error de indicación en 6 puntos, como mínimo, distribuidos uniformemente por toda la longitud de la regla y del vernier y para los pie de rey con valor de división de 0.1 mm, este error se determina en tres puntos, como mínimo, distribuidos uniformemente por la longitud de la regla y del vernier.
- Para determinar el error de indicación de los pie de rey de los tipos 1; 2; 3; 4 se coloca los bloques planoparalelos entre las superficies de medición de las mandíbulas para mediciones de exteriores.
- La fuerza que se ejerce sobre las mandíbulas asegurará el desplazamiento normal de las superficies de medición de las medidas planoparalelas, cuando el tornillo de fijación del cursor esté flojo.
- Para efectuar la determinación del error de indicación, se coloca el pie de rey de tal forma, que el borde más largo de la regla esté perpendicular con respecto a la superficie lateral superior del bloque planoparalelo y en la zona central de su superficie de medición.

- En uno de los puntos de calibración, el error de indicación se determina con el tornillo de fijación del cursor apretado.

-La determinación del error de indicación de los pie de rey de profundidad (tipo 5) se realiza con ayuda de pares de medidas o bloques planoparalelos de igual longitud nominal.

El error de indicación de los pie de rey de profundidad (tipo 5) se determina colocando las medidas planoparalelas sobre el mármol de verificación, bajando la punta de medición hasta hacer contacto con la superficie de medición de la medida planoparalela, de manera que la superficie de la medida sea perpendicular a la punta del pie de rey, comprobando que la medida puede moverse sin dificultad.

Las mediciones se realizan en dos posiciones de la superficie de la punta de medición, una con el tornillo de fijación apretado y la otra no. En este caso, la superficie de medición de la medida planoparalela no sobresaldrá por encima de la superficie de medición de la punta. donde:

e : Error de indicación del pie de rey

l_{pr} : Indicación del pie de rey en el punto dado

$l_{n\ mpp}$: Longitud nominal de la medida planoparalela patrón.

- Precauciones durante la utilización de un pie de rey

Deben observarse las siguientes precauciones cuando se utilice un pie de rey:

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 pie de rey que emplean las mismas puntas de medición para interiores que para exteriores, como el tipo 4.
5. Nunca trate de medir una pieza que esté en movimiento, rotando.
6. Después de utilizar un pie de rey, límpielo y guárdelo con las puntas de medición ligeramente separadas.

PROGRAMA DE ESTUDIOS EN CALIDAD, AMBIENTE Y METROLOGÍA

-Mantenimiento de los pie de rey.

Aunque los pie de rey 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 un efectivo control del mantenimiento por lo que siempre que no se estén utilizando manténgalos limpios, cubiertos de una película fina de aceite y en su estuche.

Como cualquier otro tipo de instrumentos, los pie de rey deberán tener reglas estandarizadas que regulen la compra, capacitación del personal, manejo, almacenaje, mantenimiento e inspección periódica.

- Almacenamiento y conservación de pie de rey.

Observe las siguientes precauciones cuando almacene pie de rey:

1. Seleccione un lugar en el que los pie de rey no estén expuestos a polvo, humedad o fluctuaciones extremas de temperatura.
2. Cuando almacene pie de rey de gran tamaño que no sean utilizados con frecuencia, aplique líquido antioxidante al cursor y caras de medición; procure dejar estas algo separadas.
3. Al menos una vez al mes, verifique las condiciones de almacenaje y el movimiento del cursor de los pie de rey que sean utilizados esporádicamente y, por tanto, mantenidos en el almacén.
4. Evite la entrada de vapores de productos químicos, como ácido hidrocloreídico o ácido sulfúrico, al lugar donde se almacenan los pie de rey.

Como cualquier otro tipo de instrumentos, los pie de rey deberán tener reglas estandarizadas que regulen la compra, capacitación del personal, manejo, almacenaje, mantenimiento

Coloque los pie de rey de modo que el brazo principal no se flexione y el vernier no resulte dañado.

Mantenga un registro, con documentación adecuada, de los calibradores que salgan del almacén hacia el área productiva.

Designee a una persona como encargada de los pie de rey que están almacenados en cajas de herramientas y anaqueles dentro del área productiva.

Incertidumbre de pie de Rey

El cálculo de la incertidumbre de un pie de rey se realiza de la siguiente manera:

Resolución: queda determinada por la mínima división del instrumento. Suponiendo una distribución rectangular se desarrolla de la siguiente forma

$$u_{res} = \frac{Res}{2\sqrt{3}}$$

En caso de que el instrumento sea analógico se cuenta también con la apreciación de la escala, la cuál se desarrolla a continuación.

$$u_{res} = \frac{\text{resolución} * \text{apreciación}}{\sqrt{3}}$$

Repetibilidad: es la desviación típica de la media, considerando su distribución como una normal.

$$u_{rep} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$s = \sqrt{\frac{x_i - \bar{x}}{n-1}}$$

Patrón: se toma del certificado de calibración.

$$u_{pc} = \frac{Up}{2}$$

Error de Abbe: se presenta cuando la escala no se encuentra sobre la misma línea del instrumento a medir, se realiza a partir de las siguientes ecuaciones.

$$\beta = \text{arc tg} \frac{r}{H} \quad e_{\text{Abbe}} = H \cdot \beta$$

siendo:

- r la resolución del pie de rey (división de escala).
- H la longitud de las bocas de medida de exteriores.
- β el ángulo formado por la boca de medida móvil respecto de la regla (en radianes).

$$u(\delta l_{\text{Abbe}}) = \frac{e_{\text{Abbe}}}{2\sqrt{3}}$$

A continuación se presentan las longitudes mínimas de las bocas de medida de exteriores e interiores, para pies de rey de resolución de 0,01 mm y 0,02 mm.

Cuadro 8. Longitudes de medidas mínimas de las bocas de medidas exteriores e interiores en resolución de 0,01 mm y 0,02 mm

Capacidad de medida (para exteriores) (mm)	Longitud mínima de las bocas H (mm)	Longitud mínima de las caras de medida para interiores h (mm)
150	30	4
200	40	6
250	50	6
300	50	6
400	55	8
500	55	8

En caso que se tenga que el pie de rey no tiene los rangos anteriores de medidas de las bocas, se utiliza la siguiente tabla.

Capacidad de medida (para exteriores) (mm)	Longitud mínima de las bocas H (mm)	Longitud mínima de las caras de medida para interiores h (mm)
0 a 135	35	6
0 a 160	40	6
0 a 200	50	8
0 a 250	50	10
0 a 300	60	10
0 a 500	80	15
0 a 750	80	15
0 a 1000	100	20

- Incertidumbre por efectos térmicos: se divide en dos partes
 - Por coeficiente de dilatación: se usa los coeficientes que se presentaron en apartados anteriores, para el caso de acero inoxidable se realiza de la siguiente manera.

$$u(\bar{\alpha}) = \sqrt{\left(\frac{1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{2} \frac{1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{3}} = 0,82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

- Por la diferencia de temperatura entre el patrón y el mesurando: se realiza con base en la siguiente ecuación.

$$u(\Delta t) = \sqrt{(1,15 \text{ } ^\circ\text{C})^2 + \left(\frac{U_{\text{calt}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{res_t}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{der_t}{2\sqrt{3}}\right)^2}$$

- Efecto de Planitud: en caso de los pies de rey se considera de acuerdo a su división de escala, se toman los siguientes valores 0,01 mm a 0,02 como 5 μm (en toda su longitud) ó valores de 0,05 mm a 0,1 mm 10 μm (por cada 100 mm). La ecuación se presenta a continuación.

$$u(\delta l_{\text{pla}}) = \frac{l_{\text{pla}}}{\sqrt{6}}$$

- Efecto de Paralelismo: se considera los valores indicados en el efecto de planitud, se utiliza como base la siguiente ecuación.

$$u(\delta l_{\text{par}}) = \frac{t_{\text{par}}}{2\sqrt{3}}$$

A continuación se presentan 3 tablas en donde se resume como se debe realizar el cálculo de la incertidumbre para cada área del pie de rey.

- Medidas exteriores:

magnitud de entrada X_i	incertidumbre típica $u(x_i)$	distribución de probabilidad	coeficiente de sensibilidad c_i	contribución a la incertidumbre $u_i(y)$
\bar{l}_j	s_j / \sqrt{n}	normal	1	s_j / \sqrt{n}
l_p	$\sqrt{\left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{d\sigma_{\text{BPL}}}{\sqrt{3}}\right)^2}$	rectangular	1	$\sqrt{\left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{d\sigma_{\text{BPL}}}{\sqrt{3}}\right)^2}$
δl_{pla}	$t_{\text{pla}} / \sqrt{6}$	rectangular	1	$t_{\text{pla}} / \sqrt{6}$
δl_{par}	$t_{\text{par}} / 2\sqrt{3}$	rectangular	1	$t_{\text{par}} / 2\sqrt{3}$
δl_{Abbe}	$e_{\text{Abbe}} / 2\sqrt{3}$	rectangular	1	$e_{\text{Abbe}} / 2\sqrt{3}$
δl_d	$d / 2\sqrt{3}$	rectangular	1	$d / 2\sqrt{3}$
$\bar{\alpha}$	$0,82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	rectangular	$L \Delta t$	$L \cdot \Delta t \left(0,82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \right)$
Δt	$\sqrt{\left(115 \text{ } ^\circ\text{C}\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{res_t}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d\sigma_t}{2\sqrt{3}}\right)^2}$	rectangular	$L \bar{\alpha}$	$L \bar{\alpha} \sqrt{\left(115 \text{ } ^\circ\text{C}\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{res_t}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d\sigma_t}{2\sqrt{3}}\right)^2}$

incertidumbre combinada (u)		$u = \sqrt{\sum u_i^2(y)}$
Incertidumbre expandida (U)		$U = k \cdot u$

- Medidas interiores

magnitud de entrada X_i	incertidumbre típica $u(x_i)$	distribución de probabilidad	coeficiente de sensibilidad c_i	contribución a la incertidumbre $u(y)$
\bar{l}_j	s_j / \sqrt{n}	normal	1	s_j / \sqrt{n}
l_p	$\sqrt{\left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\text{der}_{BPL}}{\sqrt{3}}\right)^2}$	rectangular	1	$\sqrt{\left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\text{der}_{BPL}}{\sqrt{3}}\right)^2}$
δl_{par}	$t_{\text{par}} / 2\sqrt{3}$	rectangular	1	$t_{\text{par}} / 2\sqrt{3}$
δl_{Abbe}	$e_{\text{Abbe}} / 2\sqrt{3}$	rectangular	1	$e_{\text{Abbe}} / 2\sqrt{3}$
δl_d	$d / 2\sqrt{3}$	rectangular	1	$d / 2\sqrt{3}$
$\bar{\alpha}$	$0,82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	rectangular	$L \Delta t$	$L \cdot \Delta t \left(0,82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\right)$
Δt	$\sqrt{\left[115 \text{ } ^\circ\text{C}\right]^2 + \left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\text{res}_t}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\text{der}_t}{2\sqrt{3}}\right)^2}$	rectangular	$L \bar{\alpha}$	$L \bar{\alpha} \sqrt{\left[115 \text{ } ^\circ\text{C}\right]^2 + \left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\text{res}_t}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\text{der}_t}{2\sqrt{3}}\right)^2}$
incertidumbre combinada (u)				$u = \sqrt{\sum u_i^2(y)}$
Incertidumbre expandida (U)				$U = k \cdot u$

- Sonda de profundidad

magnitud de entrada X_i	incertidumbre típica $u(x_i)$	distribución de probabilidad	coeficiente de sensibilidad c_i	contribución a la incertidumbre $u(y)$
\bar{l}_j	s_j / \sqrt{n}	normal	1	s_j / \sqrt{n}
l_p	$\sqrt{\left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\text{dev}_{BPL}}{\sqrt{3}}\right)^2}$	rectangular	1	$\sqrt{\left(\frac{U_{\text{cal}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\text{dev}_{BPL}}{\sqrt{3}}\right)^2}$
δl_a	$e_{al} / 2\sqrt{3}$	rectangular	1	$e_{al} / 2\sqrt{3}$
δl_a	$d / 2\sqrt{3}$	rectangular	1	$d / 2\sqrt{3}$
$\bar{\alpha}$	$0,82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	rectangular	$L \Delta t$	$L \cdot \Delta t \left(0,82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\right)$
Δt	$\sqrt{\left[115 \text{ } ^\circ\text{C}\right]^2 + \left(\frac{U_{\text{calt}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\text{res}_t}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\text{dev}_t}{2\sqrt{3}}\right)^2}$	rectangular	$L\bar{\alpha}$	$L\bar{\alpha} \sqrt{\left[115 \text{ } ^\circ\text{C}\right]^2 + \left(\frac{U_{\text{calt}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\text{res}_t}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\text{dev}_t}{2\sqrt{3}}\right)^2}$
incertidumbre combinada (u)				$u = \sqrt{\sum u_i^2(y)}$
Incertidumbre expandida (U)				$U = k \cdot u$

Ejercicio 4

a. Realice los siguientes cálculos basados en la calibración de un

Instrumento	Pie de rey Convencional	MAGNITUD DIMENSIONAL
Fabricante	Fowler	
Modelo	1106A29634	
Rango de Medición	0 mm a 150 mm	
Valor de división	0,01 mm	
Resolución	0,01 mm	
Temperatura Inicial	21,1 °C	
Temperatura Final	22 °C	
Humedad relativa Inicial	49 %	
Humedad relativa Final	48 %	

pie de rey. A partir de la siguiente información

Datos de los certificados de calibración de bloques patrón

Valor Nominal de la Medida mm	Valor Convencionalmente Verdadero de la Medida mm	Incertidumbre expandida con $k=2$ μm
5	5,00010	0,06
30	29,999 87	0,06
100	100,000 02	0,14

Datos Termohigrómetro

Corrección	Incertidumbre expandida con k=2
0,2 °C	0,1

Datos obtenidos durante la calibración.

Comprobación del error de indicación para las bocas de medición de exteriores.

n	Valor nominal	Valor patrón	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
			Primera lectura	Segunda lectura		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	5	5	5,00	4,99		
2	65	60+5	65,01	65,01		
3	80	80	80,03	80,02		

Comprobación de la repetibilidad para las bocas de medición de exteriores.

Indicación del Pie de Rey utilizando un bloque de			
n	mm	n	mm
1	40,01	1	90,02
2	40,01	2	90,01
3	40,02	3	90,03
4	40,01	4	90,02
5	40,02	5	90,02
6	40,01	6	90,03
7	40,01	7	90,04
8	40,03	8	90,03
9	40,01	9	90,02

10	40,01	10	90,03
----	-------	----	-------

Desviación

Comprobación del error de indicación para las bocas de medición de interiores

n	Valor nominal	Valor patrón del	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
			Primera lectura	Segunda lectura		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	5	5	4,99	4,99		
2	65	60+5	65,00	65,01		
3	80	80	79,95	80,02		

Comprobación de la repetibilidad para las bocas de medición de interiores.

Indicación del Pie de Rey utilizando un bloque de			
n	mm	n	mm
1	40,01	1	90,02
2	40,01	2	90,01
3	40,02	3	90,03
4	40,01	4	90,02
5	40,02	5	90,02
6	40,01	6	90,03
7	40,01	7	90,04
8	40,03	8	90,03
9	40,01	9	90,02
10	40,01	10	90,03

Desviación

Comprobación del error de indicación para la medición de profundidad

n	Valor nominal	Valor patrón	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
			Primera lectura	Segunda lectura		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	30	30	29,98	29,99		
2	100	100	100,04	100,03		

Incertidumbre

Incertidumbre por resolución

Incertidumbre por repetibilidad

Incertidumbre por Patrón

Incertidumbre por Error de Abbe

Incertidumbre por dilación térmica

Incertidumbre por diferencia de temperatura entre el patrón y el mesurando

Incertidumbre por efecto de Planitud

Incertidumbre por efecto de paralelismo

Incertidumbre combinada e incertidumbre expandida para las bocas exteriores, bocas interiores y medición de Profundidad

*Bocas Exteriores

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
5			
65			
80			

***Bocas Interiores**

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
5			
65			
80			

***Profundidad**

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
30			
100			

- a. Realice los siguientes cálculos basados en la calibración de un pie de rey. A partir de la siguiente información

Instrumento	Pie de rey Convencional
Fabricante	Fowler
Modelo	1106A29634
Rango de Medición	0 mm a 150 mm
Valor de división	0,01 mm
Resolución	0,01 mm
Temperatura Inicial	23,1 °C
Temperatura Final	22 °C
Humedad relativa Inicial	49 %

Humedad Final	relativa	50 %
---------------	----------	------

b. Realice los siguientes cálculos basados en la calibración de un pie de rey. A partir de la siguiente información

Datos de los certificados de calibración de bloques patrón

Valor Nominal de la Medida mm	Valor Convencionalmente Verdadero de la Medida mm	Incertidumbre expandida con k=2 um
5	5,00010	0,04
30	29,999 87	0,03
100	100,000 02	0,07

Datos Termohigrómetro

Corrección	Incertidumbre expandida con k=2
0,2 °C	0,1

Datos obtenidos durante la calibración.

Comprobación del error de indicación para las bocas de medición de exteriores.

Comprobación del error de indicación para las bocas de medición de exteriores.

n	Valor nominal	Valor del patrón	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
			Primera lectura	Segunda lectura		
	mm	mm	mm	mm	mm	79

1	5	5	4,99	4,98		
2	65	60+5	64,99	65,01		
3	80	80	80,03	80,00		

Comprobación de la repetibilidad para las bocas de medición de exteriores.

Indicación del Pie de Rey utilizando un bloque de			
n	mm	n	mm
1	40,02	1	90,04
2	40,02	2	90,01
3	40,02	3	90,03
4	40,01	4	90,02
5	40,02	5	90,02
6	40,02	6	90,04
7	40,03	7	90,04
8	40,03	8	90,03
9	40,01	9	90,02
10	40,01	10	90,03

Desviación

Comprobación del error de indicación para las bocas de medición de interiores

n	Valor nominal	Valor del patrón	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
			Primera lectura	Segunda lectura		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	5	5	4,99	4,99		
2	65	60+5	65,00	65,01		
3	80	80	79,95	80,02		

Comprobación de la repetibilidad para las bocas de medición de interiores.

Indicación del Pie de Rey utilizando un bloque de			
n	mm	n	mm
1	40,01	1	90,02
2	40,01	2	90,01
3	40,02	3	90,03
4	40,01	4	90,02
5	40,02	5	90,02
6	40,01	6	90,03
7	40,01	7	90,04
8	40,03	8	90,03
9	40,01	9	90,02
10	40,01	10	90,03

Desviación

Comprobación del error de indicación para la medición de profundidad

Valor del patrón	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
	Primera lectura	Segunda lectura		
mm	mm	mm	mm	mm
30	29,98	29,99		
100	100,04	100,03		

Incertidumbre

Incertidumbre por
PROGRAMA DE ESTUDIOS EN CALIDAD, AMBIENTE Y METROLOGÍA

resolución

Incertidumbre por repetibilidad

Incertidumbre por Patrón

Incertidumbre por Error de Abbe

Incertidumbre por dilación térmica

Incertidumbre por diferencia de temperatura entre el patrón y el mesurando

Incertidumbre por efecto de Planitud

Incertidumbre por efecto de paralelismo

Incertidumbre combinada e incertidumbre expandida para las bocas exteriores, bocas interiores y medición Profundidad

*Bocas Exteriores

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
5			
65			
80			

Bocas Interiores

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
5			
65			
80			

*Profundidad

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
30			
100			

8

MEDICION Y CALIBRACION DE

MICROMETROS PARA EXTERIORES

1. Consideraciones generales

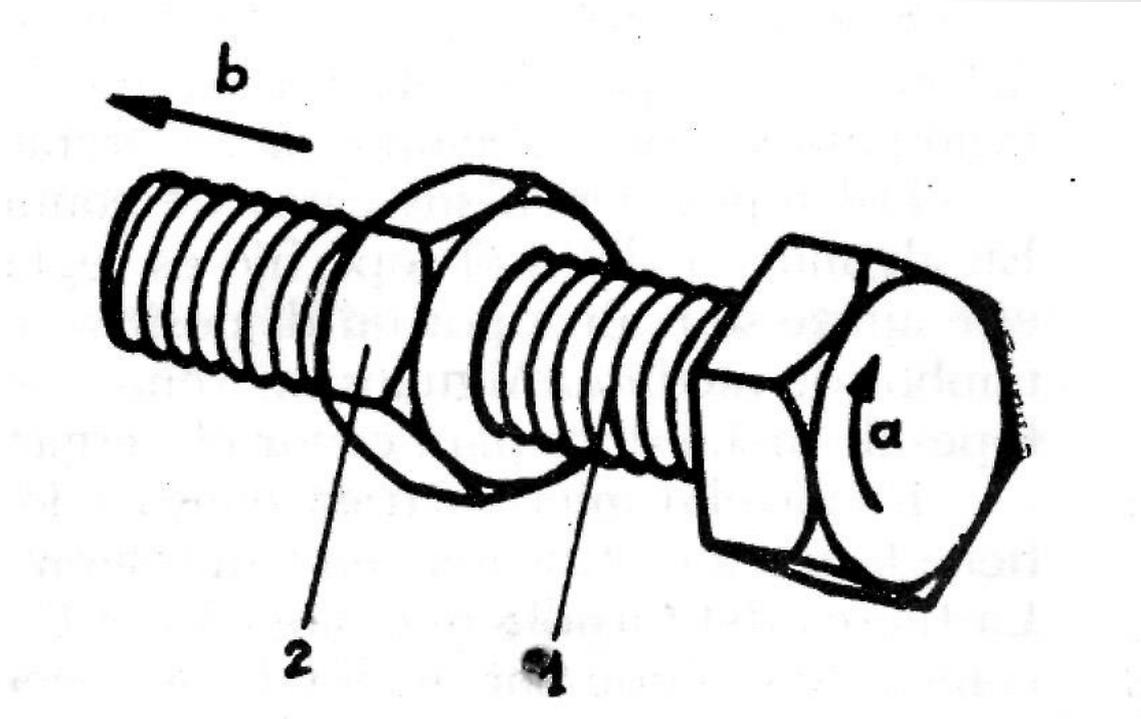
Definición

Micrómetro para medición de exteriores: Es definido como un instrumento capaz de medir la distancia entre dos caras de medición, leyendo las graduaciones indicadas en el cilindro y el tambor. Tiene una construcción tal que sobre un arco semicircular o en forma de "U" en un extremo tiene un tope fijo con cara de medición plana y en el lado opuesto un husillo móvil el cual tiene una cara de medición paralela con la cara de medición mencionada antes y puede moverse en la dirección vertical a las caras de medición anteriores, y proporciona un cilindro y un tambor que pueden indicar las lecturas correspondientes al movimiento del husillo.

Funcionamiento del palmer o micrómetro para mediciones de exteriores.

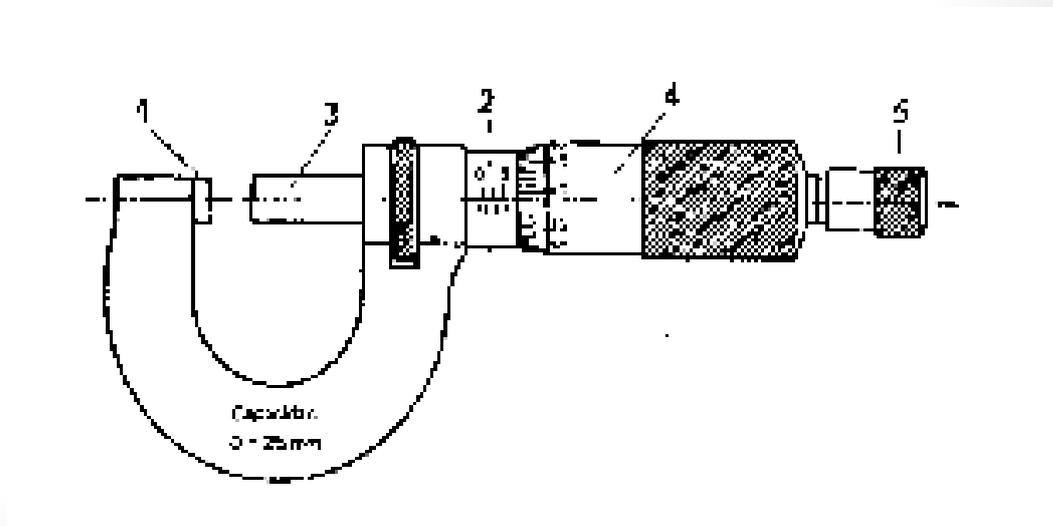
El micrómetro es otro instrumento de medidas variables, utilizado para medir con precisión de centésimas y milésimas de milímetro longitudes que no varían mucho entre sí o pequeñas longitudes según sea su disposición.

Por ejemplo, si el tornillo (1) se hace girar dentro de la tuerca (2) fija, al dar una vuelta completa en el sentido de la flecha (a), el tornillo avanza una longitud igual al paso de la rosca; si se dan dos vueltas, avanza una longitud igual a dos pasos, si se da media vuelta, avanza medio paso, y si se da un cincuentavo de vuelta o una centésima de vuelta el extremo avanzará un cincuentavo o una centésima de paso.



Si el tornillo se escoge de un paso de 0,5 mm (medio milímetro) y en la cabeza se dispone una escala a todo alrededor dividida en 50 partes iguales para poder medir cincuentavos de vuelta, se podrán medir desplazamientos de $0,5/50 = 0,01$ mm (una centésima de milímetro).

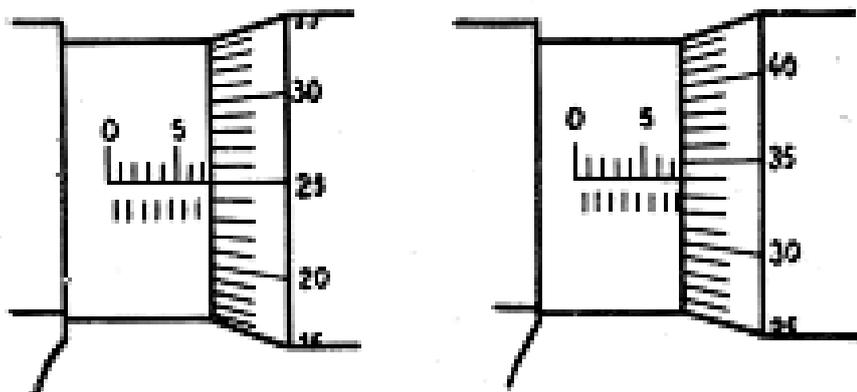
Una disposición práctica del micrómetro para medir piezas de dimensiones no muy grandes se muestra en la figura siguiente.



Como puede verse en ella, está formado por un cuerpo en forma de herradura en uno de cuyos extremos hay un tope o punta de asiento (1); en el otro extremo hay fija una regla cilíndrica graduada en medios milímetros (2) que sostiene la tuerca fija (no visible en la figura); el extremo del tornillo tiene forma de varilla cilíndrica y forma de tope (3), mientras que su cabeza está unida al tambor graduado hueco (4).

Al hacer girar el tambor (4), el tornillo se rosca o desenrosca en la tuerca fija y el tambor avanza o retrocede junto con el tope (3). Cuando los topes 1 y 3 están en contacto, el tambor cubre completamente la escala y la división “cero” del tambor coincide con la línea de la escala; al irse separando los topes se va descubriendo la escala y la distancia entre ellos es igual a la medida descubierta sobre la escala (milímetros y medios milímetros) más el número de centésimas indicado por la división de la escala del tambor que se encuentra en coincidencia con la línea de la escala fija.

Por ejemplo, en la siguiente figura, de forma primera se ve la posición del tambor para una separación de topes de 7,25 mm, y en segunda se utiliza para una medida de 7,84 mm; en este último caso el tambor indica 34 centésimas, pero como en la escala fija hay descubiertos 7,5 mm, la medida indicada es de $7,50 + 0,34 = 7,84$ mm.



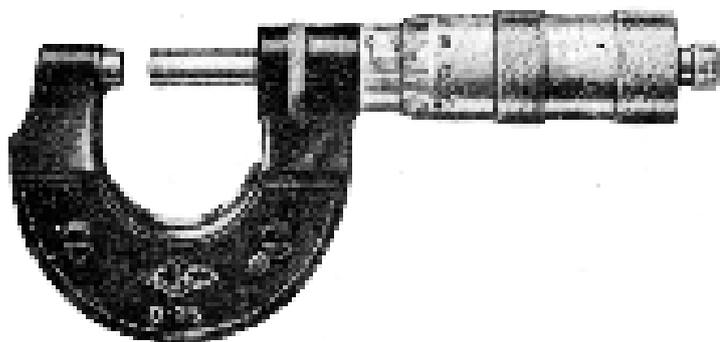
Dada la gran exactitud de los micrómetros, una presión excesiva sobre la pieza que se mide entre los topes, puede introducir errores en el resultado de la medición, además de ocasionar daños en el micrómetro y pérdida en la exactitud de éste; para evitar este inconveniente, el mando del tornillo se

hace por medio del pequeño tambor moleteado, el cual tiene un dispositivo de escape limitador de la presión (mecanismo de triquete).

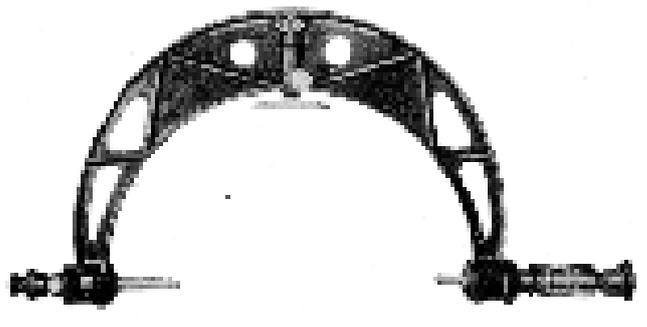
El cuerpo del micrómetro está diseñado y fabricado de forma que se eviten las deformaciones por flexión. En los micrómetros de calidad el material utilizado para su construcción es acero tratado y estabilizado.

Los topes tienen sus caras de contacto templadas, lapiadas y planas. En algunos el tope fijo es regulable para ajustar el cero; en otros, este ajuste se realiza por un dispositivo entre el tornillo del tope móvil y el tambor de medida. Algunos micrómetros modernos tienen las puntas de los topes de metal duro para evitar el desgaste

El tornillo micrométrico construido de acero templado y estabilizado tiene la rosca rectificada con una tolerancia en el paso de $\pm 1 \mu\text{m}$ (0,001 mm). La tuerca del tornillo micrométrico está hendida y tiene la rosca exterior cónica, con lo que por medio de una tuerca montada sobre ella puede recuperarse el juego que produzca el uso.



El movimiento del tornillo con el limitador de presión (mecanismo de trinquete), permite realizar las mediciones con una fuerza de contacto constante de aproximadamente un kilogramo (1 kg).



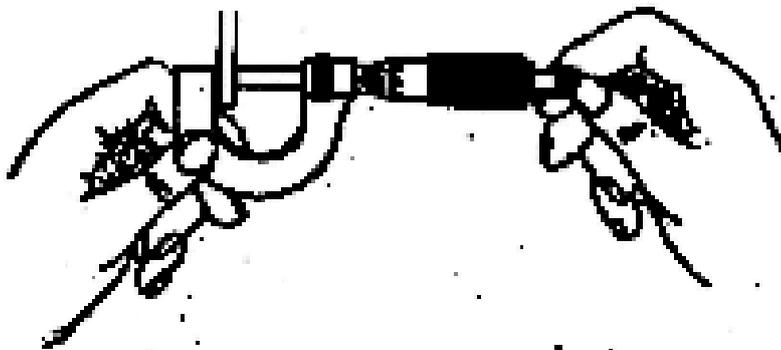
La disposición del micrómetro que se ha mostrado en las figuras anteriores sólo puede emplearse para mediciones de longitudes pequeñas, de 0 a 25 mm por ejemplo. Para hacer mediciones de piezas de mayor tamaño se construyen micrómetros cuyo cuerpo tiene una abertura mayor, como el que se muestra en la anterior. En estos micrómetros la capacidad de medida está comprendida entre una dimensión máxima y una mínima entre las cuales suele haber un diferencia de 25 mm; la capacidad máxima de medición puede llegar hasta 1500 mm.

El cuerpo del micrómetro se diseña dándole rigidez mediante nervios para hacerlo más ligero; algunos se construyen de aleaciones ligeras con la misma finalidad. Un tope reglable, según la dirección perpendicular al eje de medición, asegura que los topes de medida tomen contacto con la pieza que se mide en los extremos de un mismo diámetro.

Uso de los micrómetros.

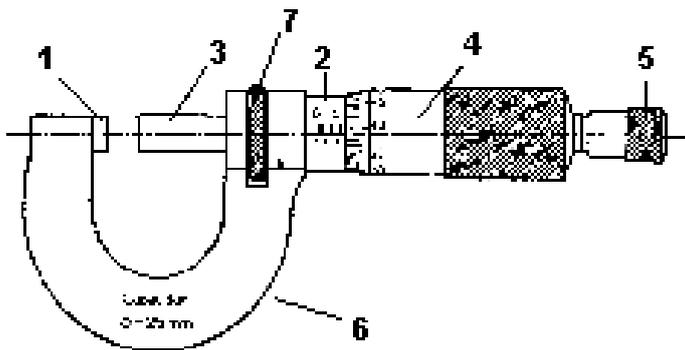
Los micrómetros no deben emplearse más que para la medición de cotas correspondientes a superficies trabajadas con una pasada de acabado, o rectificadas, es decir, que posean como mínimo un buen acabado superficial.

Para realizar la medición se pone el tope fijo en el contacto con la pieza a medir y se ajusta el tope móvil, como se muestra en la figura siguiente. En ningún caso es recomendable bloquear el micrómetro a una medida fija y utilizarlo como si fuera un calibre, pues esto produciría el rápido desgaste de los topes.



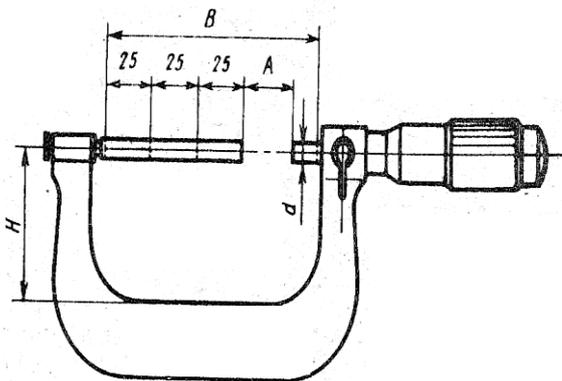
Tipos de micrómetros para mediciones de exteriores

- Micrómetro para mediciones de exteriores con superficies de medición planas. Se fabrican con límite superior de medición hasta 500 mm (Tipo 1).

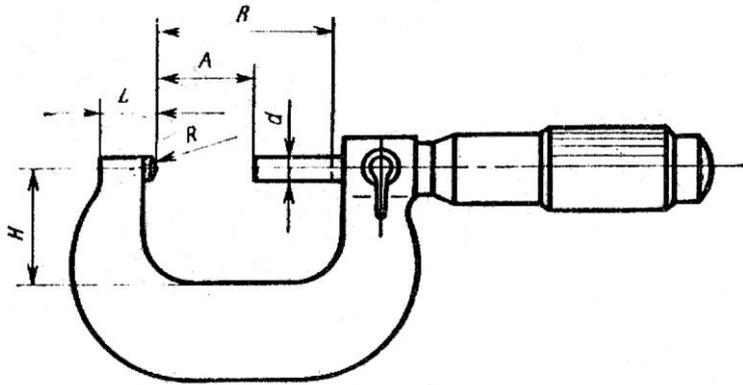


1. Tope fijo 2. Cilindro graduado 3. Vástago de medición 4. Tambor 5. Dispositivo regulador de la fuerza de medición 6. Herradura . 7. Tuerca de fijación

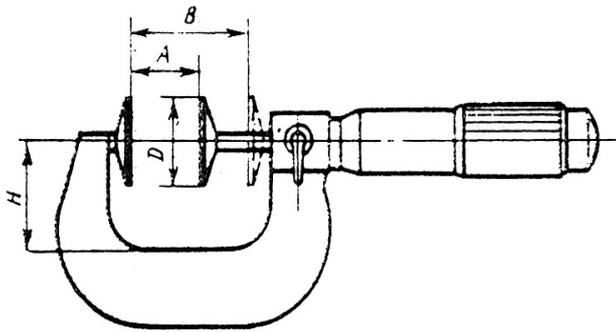
- Micrómetro para mediciones de exteriores con puntas intercambiables y superficies de medición planas. Se fabrican con límite superior de medición hasta 1000 mm (Tipo 2).



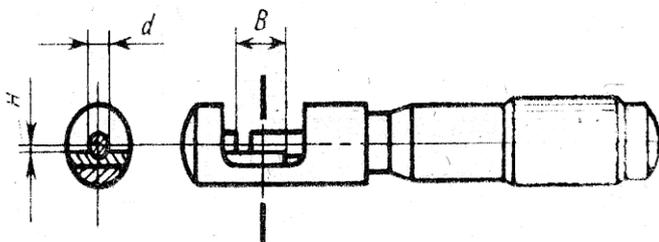
- Micrómetro para mediciones de exteriores con superficies de medición cóncavas y límite de superior de medición hasta 50 mm. También se pueden utilizar para mediciones del espesor de las paredes de tubos con diámetro inferior de 12 mm y mayores (Tipo 3).



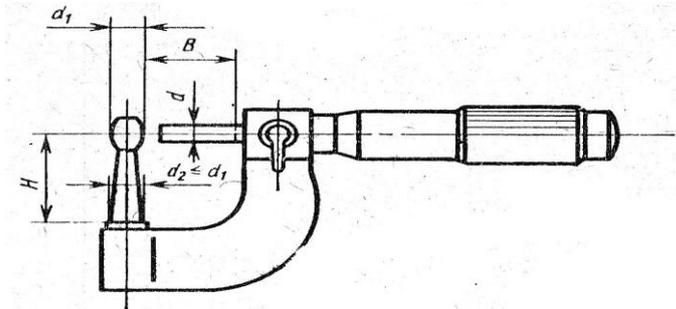
- Micrómetro para la medición de ruedas dentadas. Se utilizan para la determinación del valor medio y la variación de longitud de la normal de las ruedas dentadas con módulo mayor que 1 mm (Tipo 4).



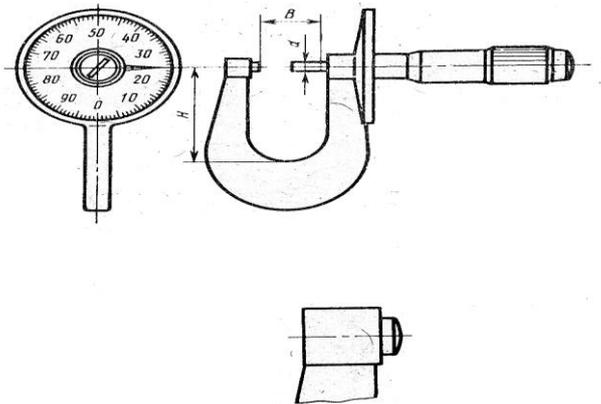
- Micrómetro para la medición de alambres con límite superior de medición hasta 10 mm (Tipo 5)



- Micrómetro para la medición de espesor de paredes de tubos (Tipo 6)



- Micrómetros para la medición de espesores de chapas y láminas, con superficie plana o esférica (Tipo 7)



Causas de error de los micrómetros.

Las principales causas de error de los micrómetros son:

1. Error de origen o de “cero”, cuando los topes del micrómetro están en contacto, no estando éste en la indicación “cero”.
 2. Los errores de paso del tornillo micrométrico y los errores de división del tambor que hacen que el desplazamiento del tope móvil no corresponda al valor leído.
 3. Falta de paralelismo de los topes de medida, cuyo plano, además debe ser perpendicular al eje de medición.
 4. La falta de planitud de los topes de medida.
- Errores en la medición con micrómetros.

Cuando realizamos mediciones con un micrómetro es necesario considerar las siguientes fuentes de errores:

1. Error de paralaje.

2. Error de coaxialidad (principio de Abbe.)
3. Ley de Hooke.
4. Deformación de Hertz.
5. Efecto de la temperatura.
6. Error instrumental.

- Cuidados requeridos al utilizar los micrómetros.

Elimine completamente suciedades y grasas de la superficies de medición.

1. Compruebe el correcto funcionamiento del instrumento antes de usarlo.
2. Antes de comenzar la medición ajuste el “cero” de su micrómetro. Este proceso se repite varias veces para comprobar su efectividad.
3. Cuando realice mediciones proteja al micrómetro de fuentes directas de calor.
4. Compruebe periódicamente el “cero” durante la medición.
5. Minimice errores de paralaje observando directamente la línea índice del cilindro.
6. Nunca mida una pieza en movimiento.
7. Al terminar la medición limpie cuidadosamente el micrómetro y proteja las superficies de medición con grasa anticorrosiva.

Calibración de micrómetros para mediciones de exteriores.

Los instrumentos de medición patrones y auxiliares, así como los dispositivos y accesorios que se utilizarán en la ejecución de la calibración de los micrómetros para exteriores serán los que se establecen en la tabla

Tabla Instrumentos de medición patrones y auxiliares, así como los dispositivos y accesorios que se utilizarán en la ejecución de la calibración de los micrómetros para exteriores.

No. de orden	Instrumentos de medición patrones, dispositivos o accesorios	Parámetros metrológicos
---------------------	---	--------------------------------

1	Lupa con aumento de 4x o mayor	-----	MEDICION Y CALIBRACION DE INSTRUMENTOS DE LA MAGNITUD DIMENSIONAL
2	Mármol de verificación y trazado o una mesa de mármol o granito	- Dimensión de 400 x 400 mm - Solo para climatizar a los instrumentos	
3	Balanza semiautomática de cuadrante o dispositivo dinamométrico especial	- Valor de división de 2 g - Capacidad máxima de pesada 2 kg	
4	Juego de medidas planoparalelas de vidrio	-----	
5	Juego de pesas, Clase M1	- De 1 a 500 g	
6	Soporte para la fijación del micrómetro durante la comprobación de la fuerza de medición	-----	
7	Regla de canto agudo	- De 1. Clase - Longitud = 120 mm	
8	Juego de Bloques patrones	- 2. clase; 4. orden	
9	Soporte para la fijación del micrómetro durante la calibración	-----	
10	Dispositivo especial (caballito)	-----	

- **Condiciones y preparación para la calibración.**

- a) La temperatura del local donde se realiza la calibración será de (23 ± 3) °C y la humedad relativa máxima permisible de 80 %.
- b) Antes de la calibración el micrómetro se limpiará con un paño de algodón suave humedecido en alcohol para eliminar la grasa de conservación y suciedades. Si de esta forma no fuera posible lograr la limpieza del instrumento, entonces se lavaría el mismo con un diluyente

adecuado como por ejemplo gasolina de aviación. Luego se secará con un paño seco para retirar residuos de líquido.

c) Los micrómetros se colocarán sobre un mármol de hierro fundido de verificación o mesa de granito en el local donde se ejecutará la calibración no menos de 3 h.

d) Las medidas planoparalelas se sostendrán durante la calibración con ayuda de guantes o paños de algodón. El micrómetro se sostendrá por la parte que tiene protección térmica y se colocará firmemente en las mordazas del soporte para micrómetros.

e) En las operaciones de calibración el vástago de medición se hará avanzar mediante el dispositivo regulador de la fuerza de medición. La lectura se tomará después de que el dispositivo regulador de la fuerza de medición se haya deslizado sobre tres o cuatro dientes del mismo, excepto durante la comprobación de la fuerza de medición en la que este deslizamiento será de una vuelta completa del dispositivo

Ejecución de la calibración.

-Examen exterior.

En el examen exterior se comprueba que:

- a) las superficies de medición de los micrómetros no presenten rasguños, huellas de corrosión señales de golpes u otros defectos, que afecten su funcionamiento.
- b) las superficies de las escalas del cilindro y del tambor no presenten rasguños, huellas de corrosión, señales de golpes, abolladuras, que dificulten o impidan la lectura.
- c) los trazos de la escala sean legibles, claros e interrumpidos.
- d) el bisel del tambor de los micrómetros tipos 1; 2; 3; 5; 6 no presente grietas o abolladuras.
- e) a simple vista no se observe oblicuidad entre los trazos del cilindro y del tambor.

-Comprobación del funcionamiento.

Se comprueba que:

- a) la rotación del tambor en el intervalo de medición sea suave y sin roces.

- b) el vástago de medición se mueva sin juego radial ni axial en la tuerca cónica.
- c) el tornillo de fijación garantice la fijación del vástago de medición.
- d) En los micrómetros con puntas intercambiables estas, después de su colocación, no tengan juego radial ni axial.
- e) cuando se encuentre apretado el tornillo de fijación, el vástago de medición no gire al accionar el dispositivo regulador de la fuerza de medición.
- f) durante la rotación del vástago de medición libre no exista desplazamiento del dispositivo regulador de la fuerza de medición.
- g) en los micrómetros del tipo 7, cuando se ejerza una ligera fuerza sobre la aguja indicadora en su base, en dirección paralela al plano de la escala, no se produzcan variaciones.
- h) no existan huellas de roce del tambor sobre el cilindro.

-Comprobación de la fuerza de medición.

Para efectuar la comprobación con ayuda de la balanza, el micrómetro se coloca en un soporte en una posición tal que la superficie de medición del vástago de medición sea paralela a la superficie del plano de la plataforma de la balanza.

La indicación del micrómetro se encontrará entre 20 y 25 divisiones por la escala del cilindro.

Después girando el tambor con ayuda del dispositivo regulador de la fuerza de medición (trinquete) se ponen en contacto las superficies del micrómetro y de la plataforma de la balanza, se hace avanzar el vástago de medición hasta que se produzca una vuelta completa del dispositivo regulador sin que avance el vástago de medición y se toma la lectura por la escala de la balanza.

Comprobación de la desviación de la planitud de las superficies planas de medición de los micrómetros.

Este aspecto se comprobará con una regla de canto agudo de 1. clase, la cual se colocará en dos direcciones perpendiculares entre sí, no debiéndose observar holgura a simple vista entre las superficies de medición del micrómetro y el bisel de la regla de canto agudo.

- Comprobación de la desviación de paralelismo de las superficies planas de medición en los micrómetros tipos 1; 2; 7; 8.

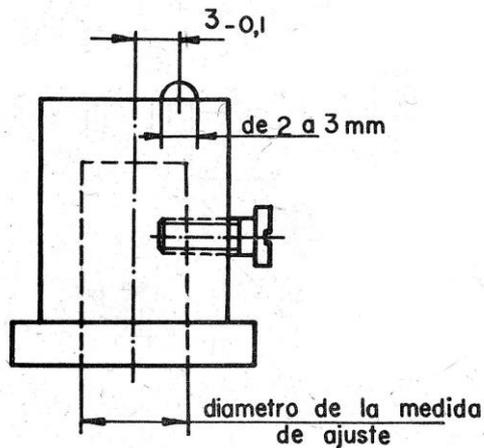
La comprobación de la desviación del paralelismo de las superficies planas de medición de los micrómetros con límite superior de medición hasta 100 mm se realiza con ayuda del juego de medidas planoparalelas de vidrio de la serie correspondiente al intervalo de medición del micrómetro. La comprobación se realiza por el método de interferencia con el tornillo de fijación del micrómetro flojo.

La medida planoparalela de vidrio de la menor dimensión se coloca entre las superficies de medición del micrómetro y se consigue el contacto observando de que se produzca la menor cantidad de bandas de interferencia que aparecen en ambas superficies. La desviación del paralelismo se determina multiplicando la cantidad total de bandas halladas con cada medida planoparalela de vidrio, por $0.3 \mu\text{m}$ que corresponde al valor de una banda de interferencia. La desviación del paralelismo se determina como el mayor de los cuatro valores hallados.

La desviación del paralelismo también se puede determinar con ayuda de 4 medidas planoparalelas que tengan una diferencia de longitud nominal entre sí, equivalente a $1/4$ de vuelta del vástago de medición del micrómetro. Cada medida planoparalela se coloca entre las superficies de medición en cuatro posiciones diferentes tomándose las lecturas por la escala del micrómetro.

Con el objetivo de eliminar la influencia de la desviación de planoparalelismo de las medidas planoparalelas se recomienda colocar la misma siempre en un mismo lado.

La comprobación de la desviación de paralelismo para los micrómetros con límite superior a 100 mm se realiza con la medida de ajuste del micrómetro y las puntas especiales. Colocando estas en la medida de ajuste de tal forma que las bolas se encuentren en una misma línea paralela al eje de la medida, fijándose con tornillos, dejando una separación de aproximadamente 0.5 mm entre la superficie de medición de la medida de ajuste y la punta que corresponde al vástago de medición del micrómetro.



Después, la medida de ajuste se coloca con ayuda de casquillos entre las superficies de medición del micrómetro, se hace el contacto con la superficie de las bolas y se toma la lectura por la escala del micrómetro.

Las mediciones se efectúan en cuatro posiciones de la medida de ajuste que difieran 90° entre sí.

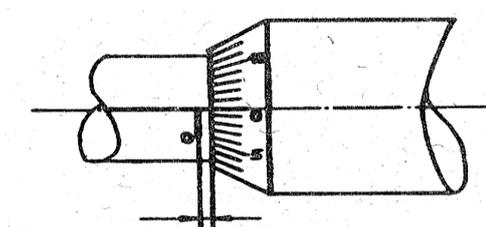
Después de efectuada la comprobación se afloja el tornillo de fijación de la punta que corresponde al vástago de medición del micrómetro y se gira $1/4$ de vuelta el vástago de medición del micrómetro en el mismo sentido de las manecillas del reloj, acercándose ambas puntas, se fija el tornillo que se había aflojado y se repite la operación. De esta misma forma se repite la operación correspondiente a $1/2$ y $3/4$ vuelta del vástago del micrómetro.

La desviación del paralelismo para cada posición del vástago del micrómetro se determina como la diferencia entre la lectura mayor y la lectura menor, obtenidas durante la calibración.

-Comprobación de la posición del bisel del tambor respecto al trazo inicial en la posición "cero" en los micrómetros tipos 1; 2; 3; 5; 6; 7; 8.

Esta comprobación se realiza por la escala del mismo micrómetro, ajustando este a la indicación "cero", y se observa si el trazo inicial queda completamente al descubierto.

Después girando el vástago de medición se hace coincidir el bisel del tambor con el borde derecho del trazo inicial y se toma la lectura por la escala del micrómetro.



Determinación del error de indicación del micrómetro.

La determinación del error de indicación de los micrómetros se realiza utilizando medidas (bloques) planoparalelas y, el dispositivo especial (ver figura 15) para los micrómetros con límite superior de medición mayor que 100 mm.

La determinación del error de indicación se realiza en 5 puntos distribuidos uniformemente por las escalas del cilindro y del tambor del micrómetro.

Antes de la comprobación del error, el micrómetro que se calibra se coloca en un soporte y se ajusta a la indicación "cero".

La comprobación del error de indicación de los micrómetros con límite superior de medición mayor que 100 mm se realiza con ayuda del dispositivo especial. (ver figura 15).

El dispositivo se coloca en la herradura del micrómetro de tal manera que la superficie esférica del dispositivo se encuentre en el mismo plano que la superficie de medición del vástago del micrómetro y se hace contacto, ajustando las indicaciones a "cero".

En cada punto comprobado se realizarán no menos de tres mediciones, colocando siempre el centro de la medida planoparalela entre los puntos de medición del micrómetro. La lectura se tomará después que el dispositivo regulador de la fuerza de medición se haya deslizado sobre 3 ó 4 dientes del mismo, apreciando 1/10 de división con ayuda de una lupa, si fuera necesario. Los resultados y cálculos obtenidos se anotarán en el registro de calibración.

$$e = l_m - l_p$$

donde:

e: Error de indicación del micrómetro

l_m : Lectura del micrómetro en el punto dado

l_p : Longitud media de la MPP tomada de su certificado.

Calculo de incertidumbre

Las componentes de la incertidumbre asociada a la calibración de micrómetros de exteriores son las siguientes:

- Repetibilidad: es la desviación típica de la media, considerando su distribución como una normal.

$$u_{rep} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$s = \sqrt{\frac{x_i - \bar{x}}{n-1}}$$

- Patrón: se toma del certificado de calibración.

$$u_{pc} = \frac{U_{p_i}}{2}$$

- Resolución: queda determinada por la mínima división del instrumento. Suponiendo una distribución rectangular se desarrolla de la siguiente forma

$$u_{res} = \frac{Res}{2\sqrt{3}}$$

En caso de que el instrumento sea analógico se cuenta también con la apreciación de la escala, la cuál se desarrolla a continuación.

$$u_{res} = \frac{\text{resolución} * \text{apreciación}}{\sqrt{3}}$$

En la tabla que se presenta a continuación se detalla la forma de realizar el cálculo.

Magnitud X_m	Estimación x_m	Incertidumbre típica $u(x_m)$	Distribución de probabilidad	Coficiente de sensibilidad c_m	Contribución a la incertidumbre $u_m(c_i)$
L_{pi}	l_{pi}	u_{pi}	Normal	1	u_{pi}
\bar{L}_i	\bar{l}_i	$\frac{s_i}{\sqrt{J}}$	Normal	-1	$-\frac{s_i}{\sqrt{J}}$
C_E	0	$\frac{E}{\sqrt{12}}$	Rectangular	1	$\frac{E}{\sqrt{12}}$

C_i	$c_i = \sum_m x_m$	Incertidumbre combinada (u)	$u = \sqrt{\sum_m u_m^2(c_i)}$
		Incertidumbre expandida (U)	$U = k \cdot u$

Ejercicio 5

a. Resuelva los siguientes ejercicios de calibración de micrómetros

Instrumento	Micrómetro de exteriores
Fabricante	Starret
No de serie	436M
Rango de Medición	50 mm a 75 mm
Valor de División	0,01 mm
Resolución	0,01 mm
Temperatura Inicial	21,3 °C
Temperatura Final	21,5 °C
Humedad relativa Inicial	66%
Humedad relativa final	59%
Método de calibración	Método de Comparación

Valor de división o resolución:	mm					
	1	2	3	4	5	6
Valor nominal xp (mm)	<u>50</u>	<u>55</u>	<u>60</u>	<u>65</u>	<u>70</u>	<u>75</u>
Valor de masa del patrón	50,000	55,000	60,000	65,000	70,000	75,000
Incertidumbre típica del patrón upi (µm)	0,080	0,140	0,09000	0,15000	0,11000	0,17000
Indicacion del ME al medir los patrones Xij(mm)	50,010	55,090	59,990	65,000	69,990	74,990
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
Valor medio xi (mm)						
Desviación típicas media si (mm)						

Incertidumbre		Punto comprobado				
		50				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular			
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
$u(l)$	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado				
		55				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular			
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
$u(l)$	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado	60			
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular			
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
$u(l)$	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado	65			
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular			
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
$u(l)$	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado				
		70				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular			
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
$u(l)$	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado				
		75				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular			
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
$u(l)$	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Longitud nominal de la MPP (Patrón) (mm)	Longitud real de la MPP (Patrón) (mm)	Indicación del instrumento calibrado (mm)	Error de indicación del instrumento calibrado (mm)	Incertidumbre expandida con $k = 2$ (mm)

b. Resuelva los siguientes ejercicios de calibración de micrómetros

Instrumento	Micrómetro de exteriores
Fabricante	
Rango de Medición	0 mm a 25mm
Valor de División	0,001 mm
Resolución	0,001 mm
Temperatura Inicial	20,0 °C
Temperatura Final	20,8 °C
Humedad relativa Inicial	62%
Humedad relativa final	65%

Valor de división o resolución:	0,001 mm										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor nominal xp (mm)	<u>0,5</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>10</u>	<u>15</u>	<u>18</u>	<u>20</u>	<u>20,5</u>
Valor de masa del patrón	0,500	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000

Incertidumbre típica del patrón u_i (μm)	0,05000	0,06000	0,06000	0,00000	0,06000	0,06000	0,07000	0,13000	0,13000	0,08000	0,14000
Indicación del ME al medir los patrones X_{ij} (mm)	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	6,999	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,498	2,000	4,000	5,000	6,999	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,498	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	3,999	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	3,999	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
Valor medio \bar{x}_i (mm)											
Desviación típica media s_i (mm)											

MEDICION Y CALIBRACION DE INSTRUMENTOS LAJIA (IT) DE INGENIERIA

Incertidumbre		Punto comprobado				
		0,500				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
u (L _P)	bloque patrón (mm)		Rectangular			
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
u (l)	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado				
		2,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
u (L _P)	bloque patrón (mm)		Rectangular			
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
u (l)	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado				
		4,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular			
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
$u(l)$	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado				
		5,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular			
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
$u(l)$	Resolución del instrumento de medición (mm)		Rectangular			
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado				
		7,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
u (L _P)	bloque patrón (mm)		Rectangular			
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
u (I)	Error de redondeo del Instrumento (mm)		Rectangular			
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado				
		8,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
u (L _P)	bloque patrón (mm)		Rectangular			
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
u (I)	Error de redondeo del Instrumento (mm)		Rectangular			
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado	10,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$	
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular				
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal				
$u(I)$	Error de redondeo del instrumento (mm)		Rectangular				
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal				
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)				

Incertidumbre		Punto comprobado	15,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$	
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)		Rectangular				
$u(L_j)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal				
$u(I)$	Error de redondeo del instrumento (mm)		Rectangular				
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal				
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)				

Incertidumbre		Punto comprobado	18,000			
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
u (L _P)	bloque patrón (mm)		Rectangular			
u (L _j)	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
u (I)	Error de redondeo del Instrumento (mm)		Rectangular			
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado	20,000			
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
u (L _P)	bloque patrón (mm)		Rectangular			
u (L _j)	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
u (I)	Error de redondeo del Instrumento (mm)		Rectangular			
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Incertidumbre		Punto comprobado	25,000			
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C _i	u _i (E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)		Rectangular			
u (L _j)	Repetibilidad del instrumento. (mm)		Normal			
u (I)	Error de redondeo del instrumento (mm)		Rectangular			
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			

Longitud nominal de la MPP (Patrón) (mm)	Longitud real de la MPP (Patrón) (mm)	Indicación del instrumento calibrado (mm)	Error de indicación del instrumento calibrado (mm)	Incertidumbre expandida con k = 2 (mm)
0,500	0,500 05	0,499	-0,001	0,001
2,000	2,000 04	2,000	0,000	0,001
4,000	4,000 05	4,000	0,000	0,001
5,000	5,000 10	5,000	0,000	0,001
7,000	7,000 04	7,000	0,000	0,001
8,000	8,000 05	8,000	0,000	0,001
10,000	9,999 98	10,000	0,000	0,001
15,000	15,000 08	15,000	0,000	0,001
18,000	18,000 03	18,000	0,000	0,001

20,000	20,000 17	20,000	0,000	0,001
25,000	25,000 27	25,000	0,000	0,001

10

MEDICION Y CALIBRACION DE

MEDIDORES DE ANGULOS CON VERNIER Y NIVELES DE BURBUJA DE CUADRO Y DE BARRA

Medidores de Ángulo con Vernier

La medición y comprobación de ángulos en el laboratorio o taller mecánico es cosa corriente y plantea problemas más o menos complicados según la naturaleza de los elementos geométricos o materiales que constituyen el ángulo a medir o comprobar.

Para resolver estos diversos problemas se han desarrollado métodos y aparatos de medición adecuados de cuyo estudio vamos a ocuparnos en este tema.

-Clasificación de los ángulos que se presentan en las mediciones.

En general los ángulos que con más frecuencia se presentan en mediciones que se realizan en laboratorios o talleres de la industria mecánica son los siguientes:

- *Ángulos diedros.* Formados por dos superficies planas de una misma pieza o de piezas diferentes.
- *Ángulos formados por un plano y una recta.* La recta suele ser una generatriz de un cuerpo de revolución (cilindro o cono).
- *Ángulos formados por dos rectas.* El caso más típico de esto es el ángulo formado por dos generatrices opuestas de un cono o tronco de cono.

Métodos de medición y comprobación de ángulos.

Los métodos de medición y comprobación de ángulos más corrientes son los siguientes:

- ✓ *Medición directa del ángulo* por medio de aparatos que permiten determinar el valor del ángulo.

- ✓ *Medición trigonométrica*, en la que mediante la medición de determinadas longitudes relacionadas con el ángulo puede calcularse el valor de éste.
- ✓ *Medición indirecta*, mediante la medición de las inclinaciones de los elementos que constituyen el ángulo, con respecto a un plano de referencia o a dos que forman un ángulo conocido.
- ✓ *Medición indirecta por comparación con un patrón de ángulo.*
- ✓ *Comprobación directa con un patrón de ángulo.*

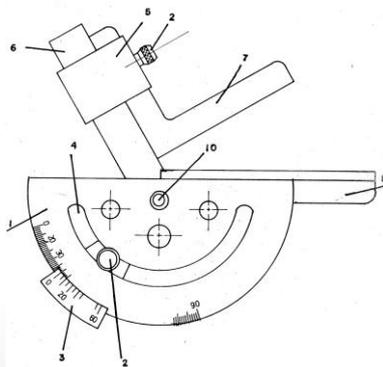
Medición directa de ángulos.

La medición directa de ángulos se realiza mediante instrumentos de trazos denominados *transportadores de ángulos y goniómetros* (ver figuras 1;2;3;4).

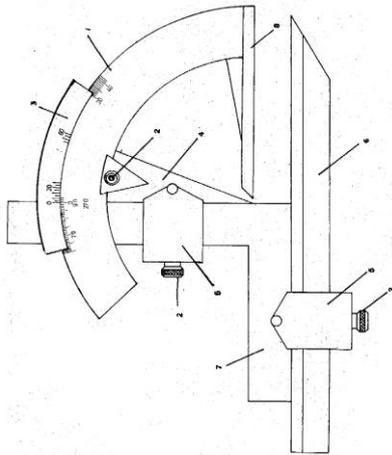
En la figura 4 se muestra un tipo de medidor de ángulo sencillo. Está formado por una pieza en forma de semicírculo graduado con la escala en su periferia y una regla articulada en el centro, que se prolonga formando un brazo sobre el que está señalado un índice que indica sobre la escala el valor del ángulo abarcado en cada momento por el borde recto del semicírculo y cada uno de los borde de la regla, para lo cual la escala está señalizada en ambos sentidos, como puede apreciarse en la figura. La escala de estos aparatos está corrientemente graduada en grados.

La medición con los medidores de ángulos que aparecen en las figuras 1;2; 3 se realiza situando el ángulo a medir de forma tal que sus dos lados coincidan con un lado de la regla y otro de la escuadra, deslizando la regla a uno y otro lado y empleando el lado de la escuadra más cómodo para su medición.

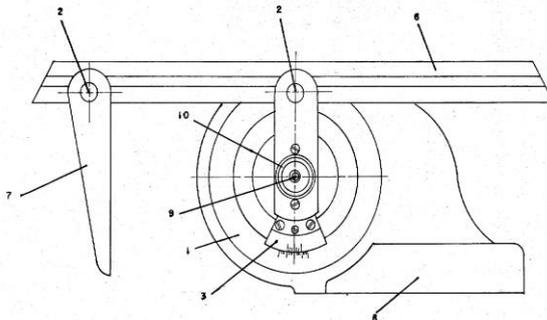
- Tipos de medidores de ángulos mecánicos con vernier



Partes 1. Limbo 2. Tornillo de fijación 3. Vernier 4. Sector 5. Cursor auxiliar
6. Regla auxiliar 7. Escuadra auxiliar 8. Regla fija 10. Eje



Partes: 1. Limbo, 2. Tornillo de fijación , 3. Vernier 4. Sector 5. Cursor auxiliar
6. Regla auxiliar
7. Escuadra auxiliar 8. Regla fija



Partes: 1. Limbo 2. Tornillo de fijación 3. Vernier 6. Regla auxiliar 7.
Escuadra auxiliar 8. Regla fija 10. Eje

Características metrológicas de los medidores de ángulos con vernier

Tipo	Apreciación por	Intervalo de medición, ...°	Valor de división
------	-----------------	-----------------------------	-------------------

	el vernier...	Ángulos exteriores	Ángulos interiores	de la escala del limbo ...°
1	2 y 5	Desde 0 hasta 180	---	1
2	2	Desde 0 hasta 360	Desde 40 hasta 180	1
3	5 y 10	Desde 0 hasta 360	---	1
4	10	Desde 0 hasta 180	---	1 ó 2

Calibración de los medidores de ángulo con vernier

-Instrumentos patrones y medios auxiliares utilizados en la calibración de medidores de ángulos con vernier.

No.	OPERACIONES DE CALIBRACIÓN	INSTRUMENTOS PATRONES Y EQUIPOS AUXILIARES
1.	<ul style="list-style-type: none"> Examen exterior 	<ul style="list-style-type: none"> Lupa con aumento 4 x. Piezas de acero de bajo contenido de carbono con una masa de 0.1 g.
2.	<ul style="list-style-type: none"> Determinación de la altura del borde del vernier con respecto a la superficie del limbo. 	<ul style="list-style-type: none"> Lámina calibradora de 2. Clase.
3.	<ul style="list-style-type: none"> Determinación de la planicidad y rectitud de las superficies de medición de la regla y escuadra de los medidores de ángulo. 	<ul style="list-style-type: none"> Regla de canto agudo de 1. Clase Placa plana de vidrio de \varnothing 60 mm de 2. Clase. Medidas planoparalelas de 2. Clase.
4.	<ul style="list-style-type: none"> Determinación del error de indicación del medidor de ángulo. 	<ul style="list-style-type: none"> Medidas angulares prismáticas patrones de 4. Orden. Mármol de verificación (400 x 400) mm con desviación máxima de planicidad no mayor que 10 μm.

No.	OPERACIONES DE CALIBRACIÓN	INSTRUMENTOS PATRONES Y EQUIPOS AUXILIARES
5.	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de la desviación de paralelismo de las superficies de medición. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pasámetro con valor de división de 2 μm.

Condiciones y preparación para la verificación

- a) La temperatura del local donde se efectúa la calibración será de (20 ± 5) ° C y la humedad relativa será no mayor de 80 %.
- b) Los medidores de ángulo, antes de la calibración se lavarán con gasolina de aviación u otro solvente con características similares y se secarán con un paño suave de algodón.
- c) Los medidores de ángulo y demás instrumentos y aparatos que participan en la calibración, permanecerán no menos de 1 h sobre un mármol de verificación a la temperatura de (20 ± 5) ° C, si se carece de dicho mármol, estos permanecerán no menos de 3 h dentro del local de calibración.

Comprobación del examen exterior

En el examen exterior se comprueba que:

1. Las superficies de medición no presenten rasguños, huellas de corrosión, huellas de golpes u otros defectos que afecten el funcionamiento.
2. Las superficies de medición de las escalas del limbo y del vernier no presenten rasguños, huellas de golpes u otros defectos que dificulten la lectura.
3. No se permite que se aprecie a simple vista la oblicuidad de los trazos del vernier.
4. Cuando se haga coincidir el primer trazo del vernier con un trazo de la escala del

limbo, el último trazo del vernier coincidirá con el trazo correspondiente del limbo.

5. Los trazos y cifras estén claros y legibles.

-Comprobación del funcionamiento.

Durante la comprobación del funcionamiento se comprueba que:

1. El movimiento de las partes móviles del medidor de ángulo sea suave.

2. No tengan desgaste los trazos del limbo por el movimiento del vernier.
3. Los tornillos de fijación aprieten fuertemente en la posición necesaria.
4. Cuando se aprieten los tornillos de fijación, no varíe la indicación del medidor de ángulo.
5. No exista juego radial entre eje y sector con el tornillo de fijación suelto, para los medidores de ángulo del tipo 1.
6. El paso muerto del dispositivo del avance fino sea de no más de 1/4 de vuelta.

- Determinación de la altura del borde del vernier con respecto a la superficie del limbo.

Se realiza con la ayuda de una lámina calibradora, en tres puntos de la escala del limbo. La lámina calibradora se coloca sobre la superficie del limbo del vernier. El borde del vernier se encontrará al mismo nivel o más bajo que la superficie de la lámina calibradora.

Determinación de la planicidad y rectitud de las superficies de medición de las reglas fijas, auxiliares y de las escuadras auxiliares.

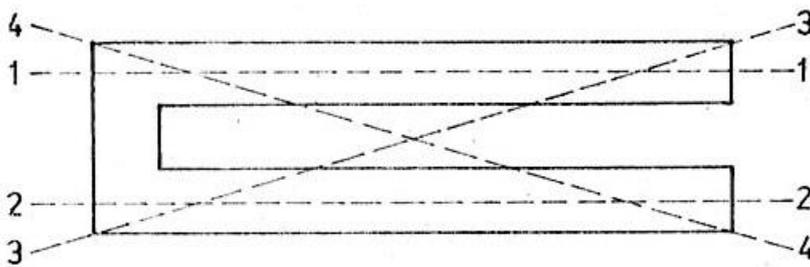
Se realiza por el método de valoración visual de la holgura existente entre la superficie de medición y del bisel de la regla de canto agudo. Para simplificar la valoración de la holgura, la misma se compara con las holguras nominales del patrón de holgura (ver figura 6).

Patrón de holgura formado por la regla biselada de rectitud, medidas planoparalelas y placa plana de vidrio.

-Requisitos a tener en cuenta durante la determinación de la planicidad y rectitud de las superficies de medición de las reglas fijas, auxiliares y de las escuadras auxiliares.

1. Cuando la anchura de la superficies de medición es de 2 mm o más, la regla de canto agudo se coloca diagonalmente sobre la superficie a comprobar.

2. En el caso de que existiera ranura o vaciado, se colocará la regla de canto agudo longitudinalmente sobre cada superficie y diagonalmente por encima de dicha ranura.
3. Cuando la anchura de la superficie de medición es menor que 2 mm, la comprobación se puede efectuar comparando dicha superficie con la superficie plana de una barra, la cual tendrá una desviación de planicidad en toda la longitud menor que 0,001 mm.
3. Los requisitos de planicidad y rectitud no tendrán validez a una distancia menor que 1mm de los bordes que limitan la longitud de la regla, para las superficies de medición hasta 150 mm y a una distancia menor que 1,5 mm para las superficies de medición con longitud mayor que 150 mm.



Determinación de la planicidad y rectitud de las superficies de medición de las reglas fijas, auxiliares y de las escuadras auxiliares (1,2 longitudinales; 3,4 diagonales).

- Determinación del error de indicación del medidor de ángulo

Se realiza con medidas angulares patrones de 4. Orden, en caso de ser necesario formar bloques de medidas angulares, para ello se utilizarán medidas angulares de 3. orden.

Para efectuar las mediciones, las superficies del medidor de ángulo se ponen en contacto con las superficies de medición de las medidas angulares, sin que exista holgura entre las superficies en contacto.

-Puntos recomendados para la determinación del error de indicación de los medidores de ángulo con vernier.

En la tabla se señalan los puntos recomendados para la calibración de los medidores de ángulo con vernier.

Tipo de medidor de ángulo	Puntos a calibrar					
	Mediciones con escuadra auxiliar	Mediciones sin la escuadra auxiliar	Mediciones con la escuadra y regla auxiliar	Mediciones con la regla auxiliar	Mediciones de ángulo derecho	Mediciones de ángulo izquierdo
1	0° 15° 10 ¹ 30° 20 ¹ 45° 30 ¹ 60° 40 ¹ 75° 50 ¹ 90°	90°	---	---	---	---
2	---	---	0° 15° 10 ¹ 30° 20 ¹ 45° 30 ¹ 50°	50° 60° 40 ¹ 75° 50 ¹ 90°	---	---
3	---	---	---	15° 10 ¹ 30° 20 ¹ 45° 30 ¹ 50° 40 ¹ 75° 50 ¹ 90°	---	---
4	---	---	---	---	45° 30 ¹ 90°	90° 30 ¹

Comprobación de la indicación en el punto “cero” para medidores de ángulos tipo 1 (sin escuadra auxiliar); tipo 2 (con escuadra auxiliar); tipo 3 (con regla auxiliar).

Se realiza con ayuda del mármol de verificación, colocando el medidor de ángulo sobre la superficie de trabajo de éste, las superficies de medición del medidor se ponen en contacto con el mármol sin que exista holgura entre las superficies en contacto, se aprieta el tornillo de fijación y se controla el punto “cero”. Si la lectura obtenida se diferencia del “cero”, es necesario efectuar el ajuste del medidor al punto “cero”.

Para los medidores de ángulo que tienen dos reglas auxiliares, la determinación del error de indicación se realiza con cada una de ellas.

- Determinación de la desviación del paralelismo de las superficies de medición de la regla fija (para el medidor de ángulos del tipo 3) de las reglas y escuadras auxiliares.

Se realiza con ayuda del pasámetro con intervalos de medición correspondientes. Las mediciones se realizan en no menos de tres puntos distribuidos uniformemente por toda longitud de la regla.

De las lecturas obtenidas se escoge la lectura máxima y la lectura mínima, la diferencia entre ellas determina la desviación del paralelismo de las superficies de medición.

La determinación de la desviación de paralelismo entre la superficie de medición de la regla auxiliar y la superficie de medición de la escuadra auxiliar, cuando la indicación del medidor es igual a 90° , y la desviación de paralelismo entre las superficies de medición de las reglas fijas y de la regla auxiliar, cuando la medición del medidor es igual a 0° se realiza igual que para las reglas y escuadras auxiliares.

Para los medidores de ángulos que tienen dos reglas auxiliares, la determinación de la desviación de paralelismo se realiza con cada regla auxiliar.

NIVEL DE AIRE O BURBUJA (de barra y de cuadro).

Básicamente el nivel de aire o nivel de burbuja, está formado por un tubo de vidrio curvado, también llamado ámpula con un radio de curvatura determinado. El tubo está lleno de un líquido muy fluido (éter o alcohol), dejando una burbuja de aproximadamente entre 20 y 30 mm de longitud. Los

extremos están cerrados a la lámpara o sellados con un mástic insoluble en el líquido que lo llena. Este tubo de vidrio también llamado ampolla o fiola del nivel, está provisto de trazos de referencia de la posición de la burbuja y en los niveles más perfectos de una graduación para medir los desplazamientos de la misma. La ampolla va montada rígidamente en un tubo metálico provisto de una abertura longitudinal que permite observar los desplazamientos de la burbuja. A su vez este conjunto se monta de forma rígida o ajustable sobre un soporte o base que puede ser de distintas formas dando origen a los distintos tipos de niveles.



Figura 9



Figura 10

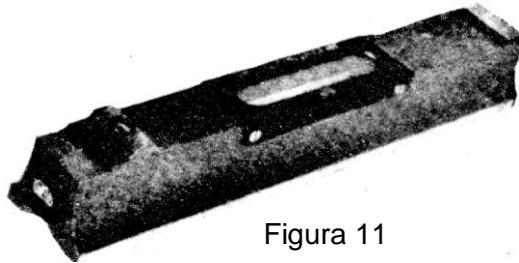


Figura 11

En el nivel lineal o con base de apoyo prismática utilizado para la comprobación de la horizontalidad de planos o árboles, el soporte tiene la forma de una caja o regla, ver figura anterior con la base cuidadosamente rectificadas y rasqueteadas en forma de prisma que puede adaptarse a las distintas formas de las superficies a verificar, como se muestra en la figura.



Hay niveles con base de apoyo graduables hasta un valor de ángulo de inclinación bastante elevado; así, la base puede formar un ángulo de inclinación de hasta 50° con el plano horizontal determinado por la burbuja.

En algunos niveles de gran exactitud el plano de la base puede inclinarse con respecto al horizontal determinado por la ampolla, por medio de un tornillo micrométrico, llamados niveles micrométricos.

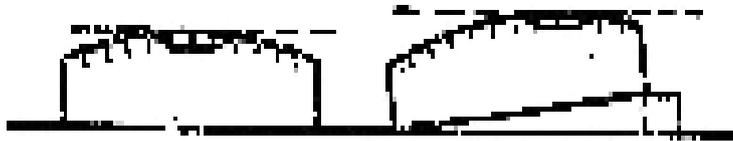
Los niveles suelen ir provistos de ampollas auxiliares situadas perpendicularmente a la principal tienen por objeto comprobar que el nivel se

encuentre nivelado en sentido transversal y en consecuencia que la ampolla principal se encuentre en un plano vertical, cosa necesaria si se desea utilizar correctamente el nivel.

Fundamento de la medición con el nivel de aire. Sensibilidad.

La medición de ángulos o inclinaciones con el nivel de burbuja, se fundamenta en que al inclinarse la base de apoyo del nivel, la burbuja experimenta un desplazamiento como consecuencia de su tendencia a ocupar la posición más elevada dentro del tubo o ampolla debido a la curvatura de este

La diferencia de alturas, h , entre los extremos de la base de apoyo del nivel para que la burbuja se desplace una división en la escala graduada de la ampolla, es lo que se llama sensibilidad del nivel.



Esta sensibilidad puede también ser expresada por la diferencia de nivel sobre la longitud de un metro o también por el ángulo α de la pendiente necesario para desviar la burbuja en una división

Los niveles más precisos empleados en los talleres para la nivelación de las guías de las máquinas herramientas, tienen una sensibilidad de $0,02 \text{ mm / m}$, siendo sus divisiones de 2 mm de longitud.



Clasificación de los niveles.

Clasificación de los niveles de acuerdo a su sensibilidad.

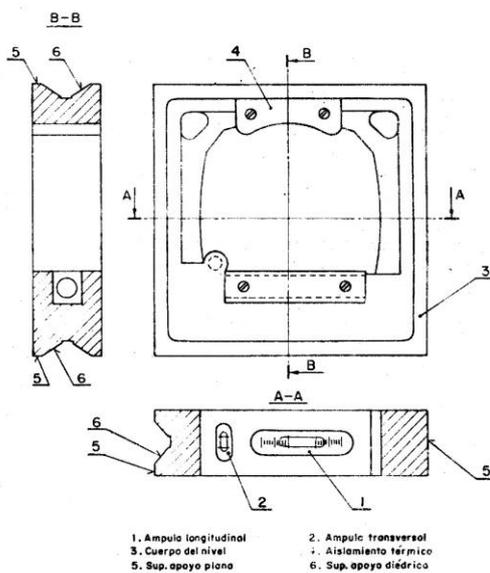
En la tabla aparece expresada la clase de los niveles de cuadro y de barra de acuerdo con la sensibilidad de la burbuja.

Clase	Sensibilidad
Clase 1	0.02 mm/m = 4 s
Clase 2	0.05 mm/m = 10 s
Clase 3	0.10 mm/m = 20 s

De acuerdo con su utilización y estructura.

- a) Niveles de cuadro, que se utilizan para verificar las posiciones horizontal y vertical
- b) Niveles de barra, solamente se utilizan para verificar la posición horizontal

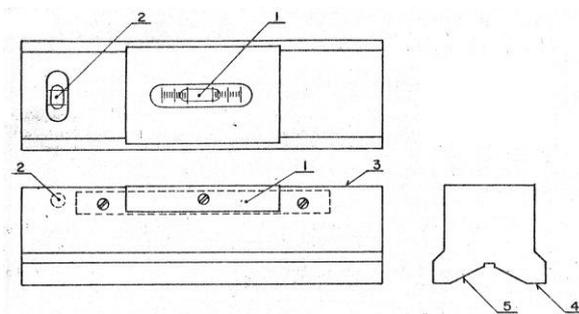
• Nivel de cuadro



Partes:

1. Ámpula longitudinal 2. Ámpula transversal 3. Cuerpo del nivel 4. Aislamiento térmico 5. Superficie de apoyo plana 6. Superficie de apoyo diédrica

- Nivel de barra con superficie de apoyo diédrica



Partes: 1. Ámpula longitudinal 2. Ámpula transversal 3. Cuerpo del nivel 4. Superficie de apoyo plana 5. Superficie de apoyo diédrica

Valor de división del ámpula de los niveles.

Como valor de división del ámpula longitudinal (principal) de los niveles se selecciona usualmente:

- ✓ 0.02 mm / m

- ✓ 0.05 mm / m
- ✓ 0.02 mm / m
- ✓ 0.10 mm / m
- ✓ 0.15 mm/ m (también se fabrican niveles con este valor de división)

Valor de división del ámpula transversal de los niveles

Como ámpula transversal de los niveles de cuadro y de barra se utilizan ámpulas sencillas con valor de división de:

3 - 6 ' (minutos)

Marcado de los niveles

Los niveles deben estar marcados sobre el cuerpo con los datos siguientes:

- a) Sensibilidad
- b) Clase
- c) Nombre de marca o fabricante

Formas de utilización del nivel de aire

El nivel puede utilizarse como comprobador de horizontalidad y como comparador o medidor de pendientes.

Para comprobar la horizontalidad no es necesario el conocimiento de la posición “cero” de la burbuja, o sea la posición exacta de ésta correspondiente a la horizontalidad perfecta de la base del nivel. En efecto, la comprobación se realiza situando el nivel primero en la posición sobre la superficie a comprobar y luego se invierte la posición de los extremos; si la superficie que se comprueba es horizontal, la situación de la burbuja no variará en la ampolla; si por el contrario la superficie no es horizontal, el desplazamiento de la burbuja será el correspondiente a un ángulo de inclinación doble que el formado por la superficie controlada y la horizontal.

Como medidor o comprobador de pendiente el nivel se puede emplear en dos formas distintas, según sea su construcción:

1. Cuando el nivel es de ampolla fija, se mide por las divisiones de la escala la desviación de la burbuja de la posición “cero”. En este caso debe conocerse el valor de la constante de sensibilidad del nivel. Esta forma de medición es aplicable únicamente a pendientes muy pequeñas, pues la posición de la burbuja cae enseguida fuera de la escala para pendientes algo mayores.
2. En los niveles con tornillo micrométrico de medición, la inclinación de la superficie se hace por vuelta a “cero”. El nivel ajustado a “cero” se coloca sobre la superficie a comprobar; esto produce una desviación de la burbuja de la posición “cero”, lográndose así la medida con el tornillo micrométrico. Este sistema presenta la ventaja de dar directamente el desnivel entre los extremos de apoyo, pero tiene en cambio la desventaja de añadir los errores del micrómetro y de ser un proceso lento de medición.

Ajuste del nivel.

Aunque los niveles vienen ajustados, después de un tiempo de uso se requiere un nuevo ajuste, por lo que debe buscarse que al girar el nivel 180° la posición de la burbuja no cambie su posición.

A continuación se describe el procedimiento de ajuste para el nivel que muestra la figura

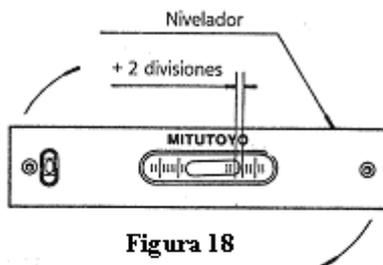


Figura 18

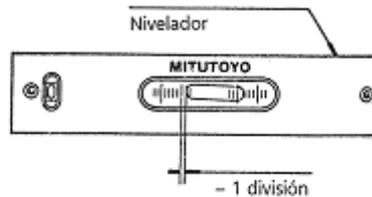


Figura 19

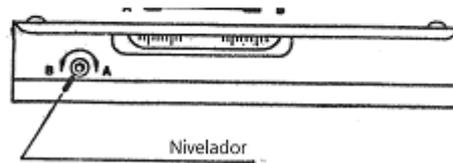


Figura 20

Secuencia de operaciones para ajustar el nivel.

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 (ver figura 18).
3. Girar el nivel 180° y tomar una segunda lectura (ver figura 19).
4. Con una llave o destornillador girar el tornillo nivelador según sea necesario (ver figura 20).

Determinación del movimiento de la burbuja.

El movimiento de la burbuja se determina de la siguiente forma, utilizando las lecturas mostradas en las figuras 18 y 19.

La figura 18 muestra que el nivel está fuera +2 divisiones, mientras que la figura 19 está fuera -1 división.

La diferencia entre las dos lecturas es de 3 divisiones.

Para el ajuste del error debe procederse de la forma siguiente:

$$\frac{\text{Primera lectura} - \text{Segunda lectura}}{2} = \frac{+2 - (-1)}{2} = \frac{+3}{2} = +1.5$$

Aumentar el ajuste del error para la 2ª lectura

$$(-1) + (+1.5) = +0.5$$

Utilizar una llave allen o destornillador y girar, siguiendo el esquema de la figura 20, el nivelador hacia el sentido “B” 1.5 divisiones.

Repetir la verificación por lo menos dos veces para obtener una mejor ubicación de la burbuja dentro del ámpula.

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.

Calibración de los niveles de aire o burbuja (de cuadro y de barra).

-Instrumentos patrones y medios auxiliares necesarios para la calibración de niveles de burbuja de barra y de cuadro.

Los instrumentos patrones y los medios auxiliares necesarios para la calibración de los niveles de cuadro y de barra se presentan en la tabla

No	OPERACIONES DE CALIBRACIÓN	INSTRUMENTOS PATRONES Y EQUIPOS AUXILIARES
1.	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación de la planicidad de la superficie de contacto y apoyo 	<ul style="list-style-type: none"> • Regla de canto agudo de clase “cero” longitud nominal igual o mayor a la superficie de apoyo del nivel. • Placa plana de vidrio Ø 100 mm de 2ª Clase. • Medidas planoparalelas de 2.ª Clase hasta 10 mm.
2.	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación de movimiento de la burbuja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Examinador de niveles con cualquier valor de división • Regla de seno

No	OPERACIONES CALIBRACIÓN	DE INSTRUMENTOS PATRONES EQUIPOS AUXILIARES
3.	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobación de la posición "cero" del nivel 	<ul style="list-style-type: none"> • Mármol de verificación de (250 x 250 mm y desviación máxima permisible de planicidad 10 μm. • Examinador de niveles con cualquier valor de división. • Para los niveles de cuadro: <ul style="list-style-type: none"> - Dispositivo de sección en forma de "T" con dos caras planoparalela cuya desviación de paralelismo no exceda de 0.25 divisiones del nivel que se calibra - Dispositivo con cilindro para la verificación del diedro superior y del inferior cuyo error de conicidad no exceda de 0.25 divisiones del nivel que se verifica. - Dispositivo para la verificación del diedro lateral

Condiciones y preparación de la calibración.

1. Antes de comenzar la calibración se lavará el nivel con nafta u otro solvente de características similares, se secará y se colocará como mínimo seis horas en el local donde se efectúa la calibración.
2. La temperatura del local donde se efectúa la calibración será de (23 ± 5) ° C.

Comprobación del examen exterior.

Se comprueba que:

1. El ámpula no presente rayaduras, esté limpia y el vidrio protector sea transparente, sin ningún defecto que afecte la lectura.
2. El líquido del ámpula esté limpio y transparente sin impurezas que dificulten la lectura.

Las superficies de apoyo y de contacto del nivel no presenten arañazos, huellas de corrosión, señas de golpes u otros defectos que dificulten su funcionamiento del nivel o la lectura.

Comprobación de la planicidad de las superficies de apoyo y de contacto del nivel planas y diédricas.

Se realiza con la regla de canto agudo en las posiciones longitudinal, transversal y diagonal.

La holgura que se observe entre los bordes de la regla de canto agudo y las superficies de contacto y apoyo del nivel se comparan con un modelo de holgura el cual se hace con medidas (bloques) planoparalelas de 2. clase y una placa plana de vidrio a la cual se adhieren las medidas planoparalelas cuya diferencia se encuentre en el intervalo de 3 a 5 mm.

- *Comprobación del movimiento de la burbuja.*

Se realiza con un examinador de niveles (ver figura 21) apoyado sólidamente sobre un mármol regulando los tornillos de apoyo del examinador, se lleva la burbuja del ámpula transversal a la posición media. Luego girando el tornillo micrométrico del examinador se hace mover la burbuja del ámpula longitudinal de un extremo a otro de la escala.

El movimiento de la misma será uniforme, sin saltos ni retrasos notables a simple vista.

- Colocación en posición horizontal de las superficies de los dispositivos e instrumentos de medición que intervienen en la calibración del nivel.

Se realiza colocando sobre las superficies de los mismos el nivel que se calibra, se toma la primera lectura por un extremo de la burbuja, después se gira el nivel 180° en el mismo lugar y se efectúa la segunda lectura. Si la diferencia entre las dos lecturas es superior a una división de la escala del nivel, por medio de los tornillos de regulación de los dispositivos, se lleva la burbuja a la posición media entre las dos lecturas y se repite la operación hasta que la burbuja de igual indicación en las dos posiciones.

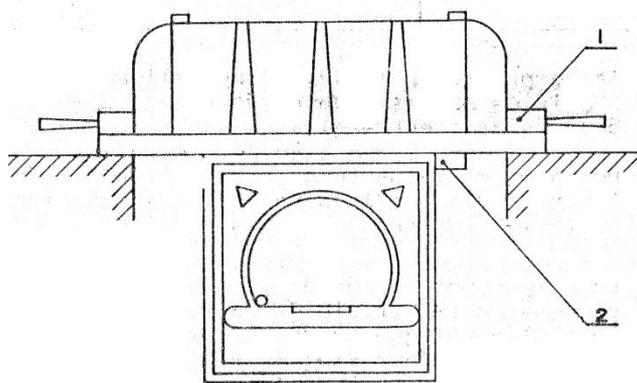
- Comprobación de la posición cero del nivel respecto a su superficie de apoyo plana inferior.

Se realiza colocando el nivel que se calibra en un mármol o en un examinador en los cuales se halla fijado fuertemente un tope y se efectúa la primera lectura por uno de los extremos de la burbuja del ámpula principal. Después se gira el nivel 180° y se efectúa otra lectura por el segundo extremo de la burbuja que ahora queda hacia el mismo lado como en la primera lectura.

La diferencia de lecturas en estas dos posiciones del nivel será como mínimo 0,5 división de la escala del mismo.

- Observaciones a tener en cuenta durante la comprobación de la posición “cero” del nivel respecto a su superficie de apoyo plana inferior.

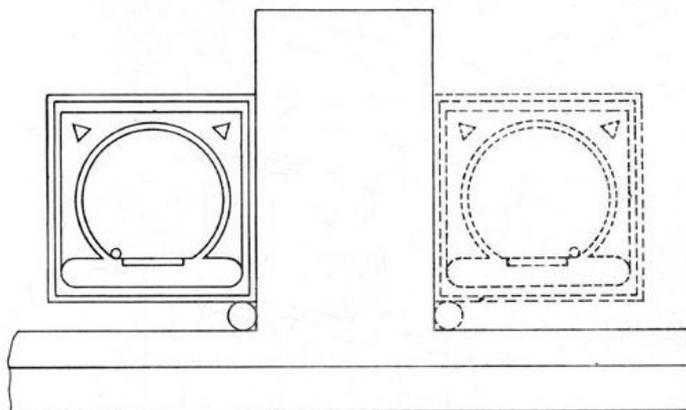
El giro a 180° del nivel se efectuará de tal forma que éste quede colocado en el mismo lugar del mármol del examinador donde se efectuó la primera lectura; al mismo tiempo y de la misma forma se realiza la comprobación de la posición “cero” del ámpula transversal, el error máximo permisible de la misma es de dos divisiones de la escala.



La diferencia máxima permisible entre las lecturas, por la escala del ámpula principal en las dos posiciones del nivel será de una división.

-Comprobación de la posición “cero” de la burbuja en los niveles de cuadro respecto a sus superficies planas laterales (ver figura 23).

Se coloca el nivel en el dispositivo en forma de “T” de caras planoparalelas, buscando que la burbuja transversal quede en posición media y se toma la primera lectura por un extremo de la burbuja del ámpula longitudinal, después se gira a 180° el nivel apoyándolo en la otra cara del dispositivo y se toma la segunda lectura.



Dispositivo en forma de "T" con caras planoparalelas para la comprobación de la posición cero de la burbuja de los niveles de cuadro respecto a sus superficies planas laterales.

La diferencia máxima permisible entre las lecturas es de 0.5 división de la escala del nivel.

-Comprobación de la posición cero de los niveles de barra y de cuadro respecto a sus superficies diédricas, superiores e inferiores

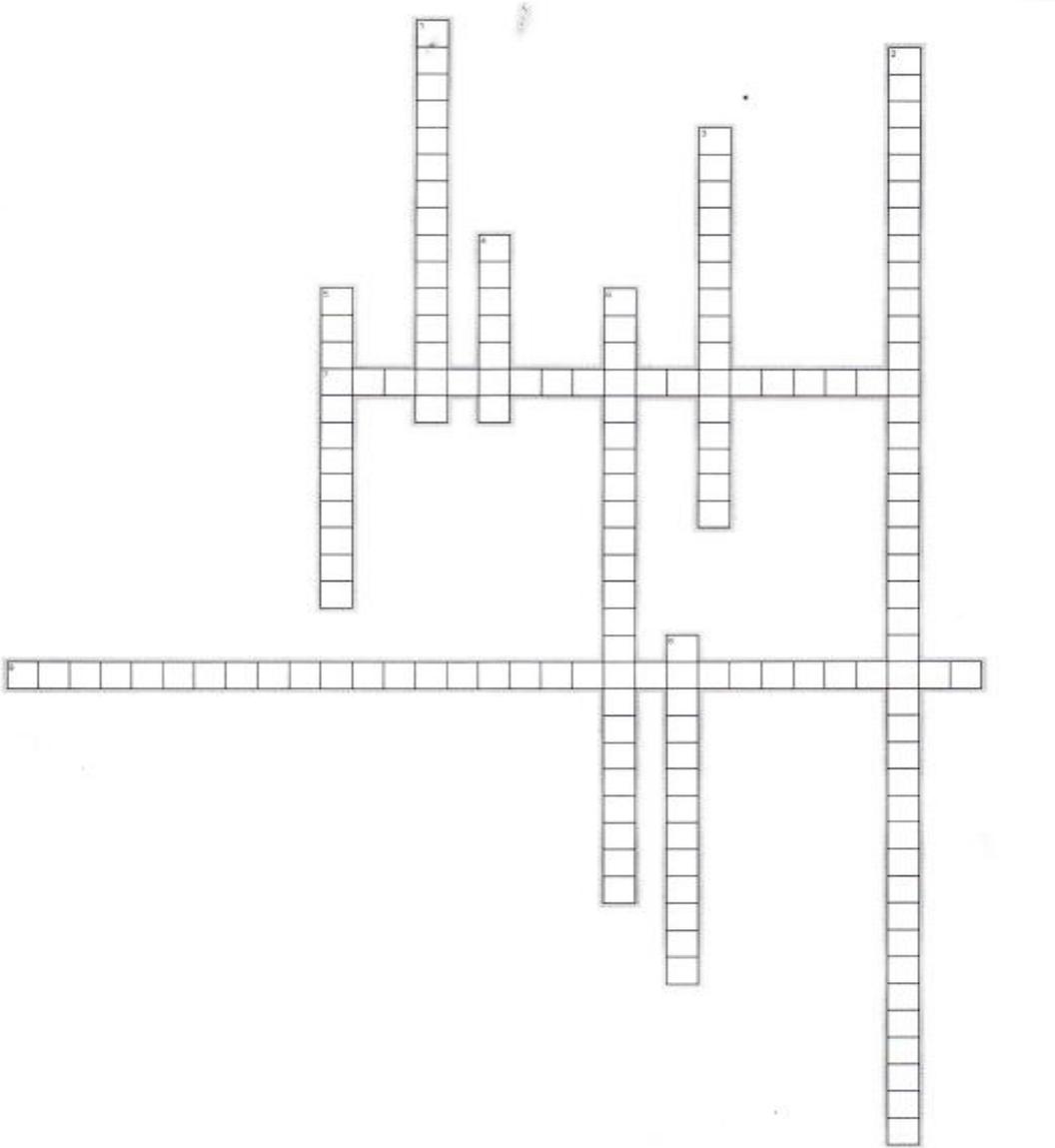
Se coloca el nivel por la superficie diédrica que se va a comprobar sobre el dispositivo para la comprobación del diedro superior e inferior de tal forma que un extremo del nivel se apoye en el tope 1

La burbuja transversal se situará en el centro de su escala, se toma la lectura por un extremo de la burbuja del ánupla longitudinal. Después se gira a 180° el nivel tal forma que quede en el mismo lugar que se encontraba el dispositivo, se coloca de nuevo la burbuja del ánupla transversal en el medio de la escala y se efectúa la segunda lectura por el otro extremo de la burbuja.

Comprobación de la posición "cero" de los niveles de cuadro respecto a sus superficies diédricas laterales.

Para la comprobación de la posición "cero" de los niveles de cuadro respecto a sus superficies diédricas laterales, se coloca el nivel en el dispositivo de comprobación con su superficie diédrica lateral en contacto directo con el apoyo y se efectúa la primera lectura por un extremo de la burbuja del ánupla longitudinal del nivel. Después se gira 180° el nivel y se efectúa la segunda lectura en el mismo extremo

Ejercicios



Across

7. Para efectuar las mediciones, las superficies del medidor de ángulo se ponen en contacto con las superficies de medición de las medidas angulares, sin que exista holgura entre las superficies en contacto
9. No tengan desgaste los trazos del limbo por el movimiento del vernier.

Down

1. Las superficies de medición no presenten rasguños, huellas de corrosión, huellas de golpes u otros defectos que afecten el funcionamiento
2. Cuando la anchura de la superficie de medición es menor que 2 mm, la comprobación se puede efectuar comparando dicha superficie con la superficie plana de una barra, la cual tendrá una desviación de planicidad en toda la longitud menor que 0,001 mm.
3. Formados por dos superficies planas de una misma pieza o de piezas diferentes
4. Sensibilidad de $0.02 \text{ mm/m} = 4 \text{ s}$
5. Utilizado para la comprobación de la horizontalidad de planos o árboles, el soporte tiene la forma de una caja o regla
6. En la que mediante la medición de determinadas longitudes relacionadas con el ángulo puede calcularse el valor de éste
8. Formado por un tubo de vidrio curvado, también llamado ampula con un radio de curvatura determinado

11

RESPUESTAS DE EJERCICIOS

Ejercicio 1

$$25,2 \text{ mm} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ km}$$

$$32,12 \text{ km} = 19,96 \text{ millas}$$

$$12,15 \text{ km} = 13287,4 \text{ yd}$$

$$14,8 \text{ yd} = 0,01 \text{ millas}$$

$$11 \text{ " } = 27,94 \text{ cm}$$

$$18,3 \text{ m} = 433,07 \text{ in}$$

$$14,3 \text{ in} = 0,31 \text{ yd}$$

$$125 \text{ cm}^2 = 0,01 \text{ yd}^2$$

$$12501 \text{ m}^2 = 0,01 \text{ km}^2$$

$$8 \text{ yd}^2 = 10452,43 \text{ m}^2$$

$$12 \text{ yd}^2 = 3,87 \times 10^{-6} \text{ millas}^2$$

Ejercicio 2

1. Cuatro tipos de errores que se pueden dar en las mediciones son
 - a. Causados por el instrumento o equipo de medición
 - b. Errores del operador o por el método de medición
 - c. Errores por el uso de instrumentos no calibrados
 - d. Errores causados por la fuerza ejecutada para efectuar las mediciones
 - e. Errores por método de sujeción del instrumento

- f. Error por distorsión
- g. Error de paralaje
- h. Error de posición
- i. Error por desgaste
- j. Error por condiciones ambientales

2. ¿Porqué considera usted que es importante tener un control sobre las condiciones ambientales? ¿Influye esto en los resultados de las mediciones?

En dimensional la temperatura y la humedad se encuentran altamente relacionadas con el comportamiento tanto de los equipos como de los patrones ya que estas influyen en todas las mediciones, incrementando o disminuyendo la variabilidad de los resultados en el momento en que se contraen o expanden los materiales

Ejercicio 3

Grado	mm	μm	Error máximo permisible
00	10	10000	2000,05
	75	75000	15000,05
	400	400000	80000,05
1	25	25000	11250,16
	150	150000	67500,16
	1000	1000000	450000,16
0	200	200000	60000,1
	500	500000	150000,1
	800	800000	240000,1
1	50	50000	22500,16
	300	300000	135000,16
	600	600000	270000,16

Ejercicio 4

Comprobación del error de indicación para las bocas de medición de exteriores.

n	Valor nominal	Valor del patrón	Valor real del patrón	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
				Primera lectura	Segunda lectura		
				mm	mm		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	5	5	5,0001	5	4,99	4,995	-0,005
2	65	60+5	65,0002	65,01	65,01	65,01	0,01
3	80	80	79,99999	80,03	80,02	80,025	0,025

Comprobación de la repetibilidad para las bocas de medición de exteriores.

Indicación del Pie de Rey utilizando un bloque de			
n	mm	n	mm
1	40,01	1	90,02
2	40,01	2	90,01
3	40,02	3	90,03
4	40,01	4	90,02
5	40,02	5	90,02
6	40,01	6	90,03
7	40,01	7	90,04
8	40,03	8	90,03
9	40,01	9	90,02
10	40,01	10	90,03

Comprobación del error de indicación para las bocas de medición de interiores.

n	Valor nominal	Valor del patrón	Valor real del patrón	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
				Primera lectura	Segunda lectura		
	mm	mm	mm		mm	mm	mm
1	5	5	5,0001	4,99	4,99	4,99	-0,0101
2	65	60+5	65,0002	65	65,01	65,005	0,0048
3	80	80	79,99999	79,95	80,02	79,985	-0,01499

Comprobación de la repetibilidad para las bocas de medición de interiores.

Indicación del Pie de Rey utilizando un bloque de			
n	mm	n	mm
1	40,01	1	90,02
2	40,01	2	90,01
3	40,02	3	90,03
4	40,01	4	90,02
5	40,02	5	90,02
6	40,01	6	90,03
7	40,01	7	90,04
8	40,03	8	90,03
9	40,01	9	90,02
10	40,01	10	90,03

0,00221108

0,002687419

0,002687

Máxima desviación

42

Comprobación del error de indicación para la medición de profundidad.

n	Valor nominal	Valor del patrón	Valor real del patrón	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
				Primera lectura	Segunda lectura		
				mm	mm		
1	30	30	29,999 87	29,98	29,99	29,99	
2	100	100	100,000 02	100,04	100,03	100,03	-

Incertidumbres

*Bocas Exteriores

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
5	-0,0051	0,030516 53	0,06103305
65	0,0098	0,100156 17	0,20031234
80	0,02501	0,140111 59	0,28022319

*Bocas Interiores

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
5	-0,0101	0,030516 53	0,06103305
65	0,0048	0,100156 17	0,20031234
80	-0,01499	0,070222 92	0,14044584

Profundidad

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
30	0,01	0,03063459	0,06126918
100	-0,01	0,07	0,14

b.

Comprobación del error de indicación para las bocas de medición de exteriores.

n	Valor nominal mm	Valor del patrón mm	Valor real del patrón mm	Indicación del Pie de Rey		Promedio mm	Error mm
				Primera lectura mm	Segunda lectura mm		
				1	5		
2	65	60+5	65,0002	64,99	65,01	65	-0,0002
3	80	80	79,99999	80,03	80	80,015	0,0150

Comprobación de la repetibilidad para las bocas de medición de exteriores.

Indicación del Pie de Rey utilizando un bloque de			
n	mm	n	mm
1	40,01	1	90,02
2	40,01	2	90,01
3	40,02	3	90,03
4	40,01	4	90,02
5	40,02	5	90,02

8	40,03	8	90,03
9	40,01	9	90,02
10	40,01	10	90,03

Comprobación del error de indicación para la medición de profundidad.

n	Valor nominal	Valor del patrón	Valor real del patrón	Indicación del Pie de Rey		Promedio	Error
				Primera lectura	Segunda lectura		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	30	30	29,999 87	29,98	29,99	29,99	0,0
2	100	100	100,000 02	100,04	100,03	100,03	-0,0

***Bocas Exteriores**

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
5	-0,0151	0,0207667 6	0,04153353
65	-0,0002	0,0354437 4	0,07088747
80	0,01501	0,0702229 2	0,14044584

***Bocas Interiores**

Valor nominal	Error	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida
5	-0,0101	0,0207667 6	0,04153353
65	0,0048	0,0354437 4	0,07088747

80	-0,01499	0,0702229 2	0,14044584
----	----------	----------------	------------

Ejercicio 5

	1	2	3	4	5	6
Valor nominal xp (mm)	<u>50</u>	<u>55</u>	<u>60</u>	<u>65</u>	<u>70</u>	<u>75</u>
Valor de masa del patrón	50,000	55,000	60,000	65,000	70,000	75,000
Incertidumbre típica del patrón upi (µm)	0,080	0,140	0,09000	0,15000	0,11000	0,17000
Indicacion del ME al medir los patrones Xij(mm)	50,010	55,090	59,990	65,000	69,990	74,990
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
					69,990	
Valor medio xi (mm)	50,010	55,090	59,990	65,000	69,990	74,990
Desviación típicas media si (mm)	0	0	0	0	0	0

Incertidumbre		Punto comprobado				
		50,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C _i	u _i (E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000080	Rectangular	2	1	4,00E-05
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,0000000	Normal	1,000	-1	0,00E+00
u (l)	Resolución del instrumento de medición (mm)	0,010000	Rectangular	3,464	1	2,89E-03
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-03
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-03

Incertidumbre		Punto comprobado				
		55,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C _i	u _i (E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000140	Rectangular	2	1	7,00E-05
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,0000000	Normal	1,000	-1	0,00E+00
u (l)	Resolución del instrumento de medición (mm)	0,010000	Rectangular	3,464	1	2,89E-03
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-03

U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-03
------	---------------------------------	--	--------------	--	--	---------

Incertidumbre		Punto comprobado				
		60,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C _i	u _i (E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000090	Rectangular	2	1	4,50E-05
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	1,000	-1	0,00E+00
u (l)	Resolución del instrumento de medición (mm)	0,010000	Rectangular	3,464	1	2,89E-03
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-03
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-03

Incertidumbre		Punto comprobado				
		65,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C _i	u _i (E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000150	Rectangular	2	1	7,50E-05
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	1,000	-1	0,00E+00
u (l)	Resolución del instrumento de medición	0,010000	Rectangular	3,464	1	2,89E-03

	(mm)					
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-03
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-03

Incertidumbre		Punto comprobado	70,000			
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)	0,000110	Rectangular	2	1	5,50E-05
$u(L_i)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	1,000	-1	0,00E+00
$u(I)$	Error de redondeo del Instrumento (mm)	0,010000	Rectangular	3,464	1	2,89E-03
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-03
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-03

Incertidumbre		Punto comprobado	75,000			
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)	0,000170	Rectangular	2	1	8,50E-05
$u(L_i)$	Repetibilidad del	0,000000	Normal	1,000	-1	0,00E+00

	instrumento. (mm)					
u (I)	Error de redondeo del Instrumento (mm)	0,010000	Rectangular	3,464	1	2,89E-03
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-03
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-03

Longitud nominal de la MPP (Patrón) (mm)	Longitud real de la MPP (Patrón) (mm)	Indicación del instrumento calibrado (mm)	Error de indicación del instrumento calibrado (mm)	Incertidumbre expandida con k = 2 (mm)
50,00	50,000 06	50,01	0,01	0,006
55,00	55,000 16	55,09	0,09	0,006
60,00	60,000 28	59,99	-0,01	0,006
65,00	65,000 38	65,00	0,00	0,006
70,00	69,999 95	69,99	-0,01	0,006
75,00	75,000 05	74,99	-0,01	0,006

b.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor nominal xp (mm)	<u>0,5</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>10</u>	<u>15</u>	<u>18</u>	<u>20</u>	<u>25</u>
Valor de masa del patrón	0,500	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000

Incertidumbre típica del patrón μ (μm)	0,05000	0,060	0,06000	0,00000	0,06000	0,06000	0,07000	0,13000	0,13000	0,08000	0,14000
Indicacion del ME al medir los patrones X_{ij} (mm)	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	6,999	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,498	2,000	4,000	5,000	6,999	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,498	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	3,999	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	3,999	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
Valor medio x_i (mm)	0,499	2,000	4,000	5,000	7,000	8,000	10,000	15,000	18,000	20,000	25,000
Desviación típica s_{medi}	0,0004216	0,000000	0,0004216	0,000000	0,0004216	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

MEDICION Y CALIBRACION DE INSTRUMENTOS DE LA MAGNITUD DIMENSIONAL

a s_i (mm)										
---------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Incertidumbre	Punto comprobado	0,500				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	u_i(E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000050	Rectangular	2	1	2,50E-05
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,0004216	Normal	1,000	-1	-4,22E-04
u (I)	Resolución del instrumento de medición (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			5,1E-04
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			1,0E-03

Incertidumbre	Punto comprobado	2,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	u_i(E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000060	Rectangular	2	1	3,00E-05
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,0000000	Normal	1,000	-1	0,00E+0

						0
u (l)	Resolución del instrumento de medición (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-04
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-04

Incertidumbre	Punto comprobado	4,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	u_i(E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000060	Rectangular	2	1	3,00E-05
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000422	Normal	1,000	-1	-4,22E-04
u (l)	Resolución del instrumento de medición (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			5,1E-04
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			1,0E-03

Incertidumbre	Punto comprobado	5,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	u_i(E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000000	Rectangular	2	1	0,00E+00

u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	1,000	-1	0,00E+00
u (l)	Resolución del instrumento de medición (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-04
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-04

Incertidumbre	Punto comprobado	7,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	u_i(E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000060	Rectangular	2	1	3,00E-05
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000422	Normal	1,000	-1	-4,22E-04
u (l)	Error de redondeo del Instrumento (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
u _c (E)	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			5,1E-04
U(E)	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			1,0E-03

Incertidumbre	Punto comprobado	8,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor ±	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	u_i(E)
u (L _P)	bloque patrón (mm)	0,000060	Rectangular	2	1	3,00E-05
u (L _i)	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	1,000	-1	0,00E+00

$u (I)$	Error de redondeo del Instrumento (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-04
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-04

Incertidumbre	Punto comprobado	10,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u (L_P)$	bloque patrón (mm)	0,000070	Rectangular	2	1	3,50E-05
$u (L_i)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	1,000	-1	0,00E+00
$u (I)$	Error de redondeo del Instrumento (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-04
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-04

Incertidumbre	Punto comprobado	15,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u (L_P)$	bloque patrón (mm)	0,000130	Rectangular	2	1	6,50E-05
$u (L_i)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	3,162	1	0,00E+00

						0
$u (I)$	Error de redondeo del Instrumento (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			3,0E-04
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,9E-04

Incertidumbre	Punto comprobado	18,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u (L_P)$	bloque patrón (mm)	0,000130	Rectangular	2	1	6,50E-05
$u (L_i)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	3,162	1	0,00E+00
$u (I)$	Error de redondeo del Instrumento (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			3,0E-04
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,9E-04

Incertidumbre	Punto comprobado	20,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u (L_P)$	bloque patrón (mm)	0,000080	Rectangular	2	1	4,00E-05

$u(L_i)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	3,162	1	0,00E+00
$u(l)$	Error de redondeo del Instrumento (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			2,9E-04
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,8E-04

Incertidumbre	Punto comprobado					
		25,000				
Símbolo	Fuente de incertidumbre	Valor \pm	Distribución de Probab.	Divisor	Coef. C_i	$u_i(E)$
$u(L_P)$	bloque patrón (mm)	0,000140	Rectangular	2	1	7,00E-05
$u(L_i)$	Repetibilidad del instrumento. (mm)	0,000000	Normal	3,162	1	0,00E+00
$u(l)$	Error de redondeo del Instrumento (mm)	0,001000	Rectangular	3,464	1	2,89E-04
$u_c(E)$	Incertidumbre combinada (mm)		Normal			3,0E-04
$U(E)$	Incertidumbre expandida (mm)		Normal (k=2)			5,9E-04

Longitud nominal de la MPP (Patrón) (mm)	Longitud real de la MPP (Patrón) (mm)	Indicación del instrumento calibrado (mm)	Error de indicación del instrumento calibrado (mm)	Incertidumbre expandida con $k = 2$ (mm)
0,500	0,500 05	0,499	-0,001	0,001
2,000	2,000 04	2,000	0,000	0,001
4,000	4,000 05	4,000	0,000	0,001
5,000	5,000 10	5,000	0,000	0,001
7,000	7,000 04	7,000	0,000	0,001
8,000	8,000 05	8,000	0,000	0,001

10,000	9,999 98	10,000	0,000	0,001
15,000	15,000 08	15,000	0,000	0,001
18,000	18,000 03	18,000	0,000	0,001
20,000	20,000 17	20,000	0,000	0,001
25,000	25,000 27	25,000	0,000	0,001

12

BIBLIOGRAFIA

BIPM. (2008). *Evaluation of measurement data- Guide to the expression of uncertainty in measurement*. París.

LACOMET (s.f.). Información funciones laboratorio de metrología.
Recuperado el 27 de enero de 2014, de <http://lacomet.go.cr/>

Miller, M. (2006). *Ejercicios de conversiones*. Recuperado el 26 de 08 de 2013, de <http://www.mamutmatematicas.com/ejercicios/tabla-medicion.php?col=2&row=10&level=1&ouncespounds=1£stons=1&font=Default&FontSize=12pt&pad=6&extraspaces=1&ptitle=&Submit=Submit>

Restrepo, J. (2008). Metrología. Aseguramiento metrológico industrial.

13 LINKS Y PÁGINAS DE INTERÉS

<http://www.bipm.org/en/about-us/>

<http://www.lacomet.go.cr/>

www.inteco.or.cr/

<https://www.recope.go.cr/>

www.fluke.com/cr

www.pyrex.com

http://simce.iat.es/simce/files/2012/06/Sistema_Internacional_2006.pdf