

---

---

***FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN***



***DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA***



***LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES***

---

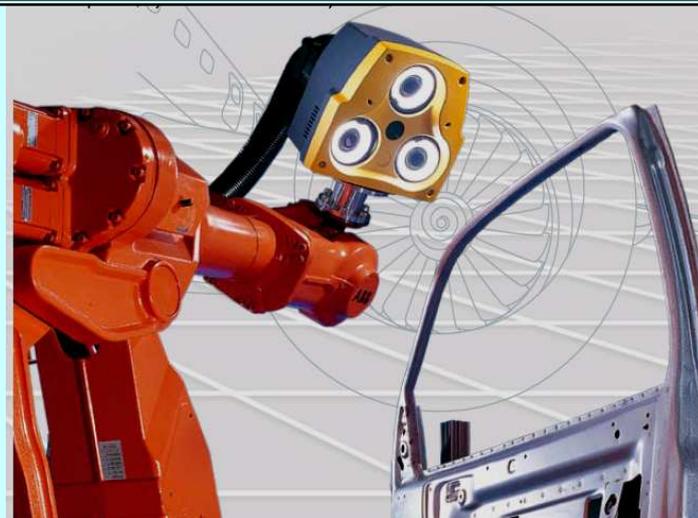
---

***LECTURAS DE INGENIERÍA 16***

***METROLOGÍA DIMENSIONAL***

---

---



---

---

***M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.***

**CUAUTITLÁN IZCALLI 2010**

## ÍNDICE

	Pag.
INTRODUCCIÓN .....	1

### ***CAPITULO 1 METROLOGÍA***

1.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES .....	2
1.2 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN LABORATORIO DE METROLOGIA DIMENSIONAL .....	2

### ***CAPITULO 2 TEORÍA BASICA***

2.1 FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE MEDICIÓN	
2.1.1. Concepto de medición.....	5
2.1.2 Sistemas de medir. ....	6
2.2. TEORÍA DE LOS ERRORES.....	8
2.2.1. Errores del aparato.....	9
2.2.2. Errores del operador .....	10
2.2.3 Error por el medio ambiente .....	11

### ***CAPÍTULO 3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN***

3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN. ....	15
3.2. CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN A UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN .....	16

### ***CAPITULO 4 PATRONES***

4.1 GENERALIDADES.....	17
4.2 CLASIFICACIÓN.....	17
4.3 DESCRIPCIÓN.....	17
4.3.1 Patrones prototipo internacional .....	17
4.3.2 Patrón primario .....	18
4.3.3 Patrón secundario .....	18
4.3.4 Patrón de taller .....	18
4.3.5 Patrones de trazos .....	18
4.3.6 Patrones de caras paralelas .....	19
4.4. PATRONES DE EXTREMOS ESFÉRICOS .....	24
4.5. PATRONES CILÍNDRICOS .....	25

### ***CAPITULO 5 COMPARADORES DE CARÁTULA***

5.1.- GENERALIDADES .....	28
---------------------------	----

5.2. COMPARADOR DE CARÁTULA. ... ..	28
5.2.1. Método de operación ... ..	31
5.3. COMPARADOR DIGITAL .....	32

## ***CAPÍTULO 6***

### ***CALIBRADOR CON VERNIER***

6.1 GENERALIDADES .....	34
6.2 DESCRIPCIÓN. ....	34
6.3. REPRESENTACIÓN DE LAS DIFERENTES GRADUACIONES DE LOS CALIBRADORES CON VERNIER. ....	36
6.4. DETERMINACIÓN DE UNA LECTURA CON EL CALIBRADOR CON VERNIER .....	37
6.5. CALIBRADOR CON INDICADOR DE CUADRANTE 0 CARÁTULA .....	43
6.6. CALIBRADORES ELECTRODIGITALES .....	43
6.7. PRECAUCIONES AL MEDIR. ....	44

## ***CAPÍTULO 7***

### ***EL MICRÓMETRO***

7.1. GENERALIDADES. ....	51
7.2 DESCRIPCIÓN .....	51
7.3. TIPOS DE MICRÓMETROS. ....	56
7.4. CAUSAS DE ERROR DE LOS MICRÓMETROS. ....	57
7.4.1. Verificación de los micrómetros.....	58

## ***CAPÍTULO 8***

### ***OTROS INSTRUMENTOS***

8.1. GRAMIL O CALIBRE DE ALTITUD. ... ..	63
8.2. CALIBRES DE HERRADURA .....	66
8.3. ALESÁMETRO .....	67
8.4. GONIÓMETRO .....	69
8.5. RUGOSÍMETRO .....	71
8.6. COMPARADOR ÓPTICO (PROYECTOR DE PERFILES) .....	73
8.7. PLANTILLAS .....	77
8.8. MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS .....	78
8.8.1. Aplicaciones de las máquinas de medir por coordenadas .....	80
8.8.2. Instalación de una CMM .....	80
8.8.3. Las arquitecturas de las CMM. ....	81
8.9. LA MEDIDA SIN CONTACTO. ....	89
8.9.1 El escáner con luz blanca. ....	90
8.9.1.1. Aplicaciones. ....	92
8.9.2. El escáner láser. ....	93
8.9.2.1 Aplicaciones .....	95
8.10. METROLOGÍA PORTÁTIL .....	98
8.11. RÁPIDA DIFUSIÓN EN LA INDUSTRIA, EL ARTE Y LA CIENCIA .....	98

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>99</b>
--------------------------	-----------

## INTRODUCCIÓN

*El desarrollo de la Ciencia y Tecnología actuales implican la generación y aplicación del conocimiento en muchas áreas y consecuentemente el estudiante de Ingeniería debe estar al tanto de los mismos, sin embargo, debido a la actualización poco frecuente de los programas y planes de estudio y por las limitaciones propias de semestres de apenas cuatro meses de actividades académicas, es difícil la actualización del estudiante en dichos conocimientos, además, dejar trabajos de investigación no funciona de la manera deseada, ya que en muchas ocasiones se descargan de Internet y se imprimen sin leerlos siquiera, de ese modo, surge la idea de crear una serie de apuntes de temas básicos para el ingeniero actual como son: el endurecimiento superficial del acero, las fundiciones de hierro, la tribología y el desgaste, la superplasticidad, los avances en la industria siderúrgica, superaleaciones, etc.*

*En este trabajo se habla de la metrología dimensional que es la parte de la metrología que estudia los procesos de medida de magnitudes relacionadas con la longitud: distancias, formas, ángulos, características geométricas, etc.*

*La metrología dimensional incluye la medición de todas aquellas propiedades que se determinen mediante la unidad de longitud, como por ejemplo distancia, posición, diámetro, redondez, planitud, rugosidad, etc. La longitud es una de las siete magnitudes base del Sistema Internacional de Unidades (SI).*

*Esta especialidad es de gran importancia en la industria en general, pero muy especialmente en la de manufactura pues las dimensiones y la geometría de los componentes de un producto son características esenciales del mismo, ya que, entre otras razones, la producción de los diversos componentes debe ser dimensionalmente homogénea, de tal suerte que estos sean intercambiables aun cuando sean fabricados en distintas máquinas, en distintas plantas, en distintas empresas o, incluso, en distintos países.*

*Como siempre cualquier comentario o corrección será bienvenido.*

ATTE.

*Mtro. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez*

## ***CAPITULO 1***

### ***METROLOGIA***

#### **1.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

En la actualidad, el propósito básico de las mediciones dimensionales en la industria manufacturera, es verificar y asegurar con el mínimo de error, que el producto elaborado coincida con las especificaciones indicadas en el plano de diseño, siendo uno de los conductos para lograr este objetivo, el uso de la **METROLOGIA**.

Se designa a la Metrología, como la ciencia de todas las mediciones las cuales están hechas para comparar las condiciones dimensionalmente perceptibles, de sólidos o de diversos fenómenos físicos que generalmente aceptan unidades de medición. Por lo anterior existen varios tipos de Metrología, como: metrología eléctrica, metrología térmica, metrología química, metrología neumática, metrología geométrica, etc.

#### **1.2 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN LABORATORIO DE METROLOGIA DIMENSIONAL.**

Los laboratorios de metrología geométrica deben cumplir ciertos requisitos de instalación, para que en cualquier momento pueda determinarse con la mayor seguridad, mediciones y verificaciones con el mínimo error posible.

Dadas las mediciones extraordinariamente pequeñas de las magnitudes que deben tomarse en consideración en el proceso de medición y prescindiendo de los errores personales, así como de los inevitables que se presenten en los aparatos de medida, para la instalación y montaje del laboratorio de metrología geométrica, deben cumplirse los siguientes requisitos principales:

- a) Temperatura
- b) Humedad del aire
- c) Iluminación
- d) Instalación exenta de vibraciones y polvo

**a) Temperatura de medición.** Debido a que todos los cuerpos presentan distinta dimensión cuando se les mide a diferentes temperaturas, la temperatura de trabajo se ha normalizado internacionalmente, para que los países adheridos a I . S . O (Organización Internacional de

Estándares), han adoptado el valor de  $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ , según la recomendación R1, la cual recibe el nombre de temperatura de referencia. Por consiguiente, los instrumentos y equipos de medición que existen se encuentran ajustados a esta temperatura de referencia, conservando esta misma temperatura para efectos de comprobación.

El mantenimiento de una temperatura constante en el local de medición se logra con una instalación de un equipo de aire acondicionado

**b) Humedad en el aire.** Este requisito es importante dado que si esta humedad es excesiva, perjudica a las piezas por medir y a elementos del propio equipo, produciendo superficies corroídas.

Por lo anterior, el acondicionamiento de aire debe proporcionar, no solamente la temperatura correcta, sino también el adecuado grado de humedad de la atmósfera de la sala de mediciones.

El grado de humedad relativa del aire que se requiere en los procesos de medición es del orden de 50%.

**c) La iluminación.-** Cuando se proyecta una instalación de alumbrado, la visión del técnico de iluminación debe tener en cuenta que una iluminación defectuosa exige el ojo humano un esfuerzo mayor de trabajo, ocasionando cansancio prematuro, escozor de ojos, dolor de cabeza y disminución de la agudeza visual. En resumen, una iluminación adecuada, permite al operario desarrollar un trabajo en condiciones óptimas que ocasiona menos errores en el proceso de medición, además, que este se efectúa con mayor seguridad y rapidez.

**d) Instalación exenta de vibraciones y polvo.-** Un laboratorio de metrología geométrica debe estar protegido de vibraciones y ruidos que afecten un primer lugar a los aparatos de medición y por consiguiente a las mediciones efectuadas.

Cuando no se pueda evitar, que en la cercanía del mismo se produzcan choques o percusiones de elementos mecánicos, debe procurarse por lo menos, que el montaje de los aparatos sea elástico, o aun mejor, que la sala de medición se encuentre en un subterráneo así se tendrá menor problema para eliminar las vibraciones, que afectan los mecanismos de los equipos de medición ocasionándoles desajustes.

Otro punto que debe tomarse en cuenta por dos razones importantes, es la introducción de polvo a la sala de medición.

I) La sala de medición debe estar exenta de polvo, para que no se depositen partículas sobre la superficie de medición y obtener lecturas libres de error, como lamento de polvo y otras partículas extrañas.

II) El organismo humano debe disponer de aire lo más puro posible, para la respiración de los operarios durante el proceso de medición.

En la sala de medición con aire acondicionado, se obtienen una circulación de aire puro y lavado con un elevado grado de pureza lo que resulta muy ventajoso por las razones antes mencionadas.

**Otras recomendaciones.**

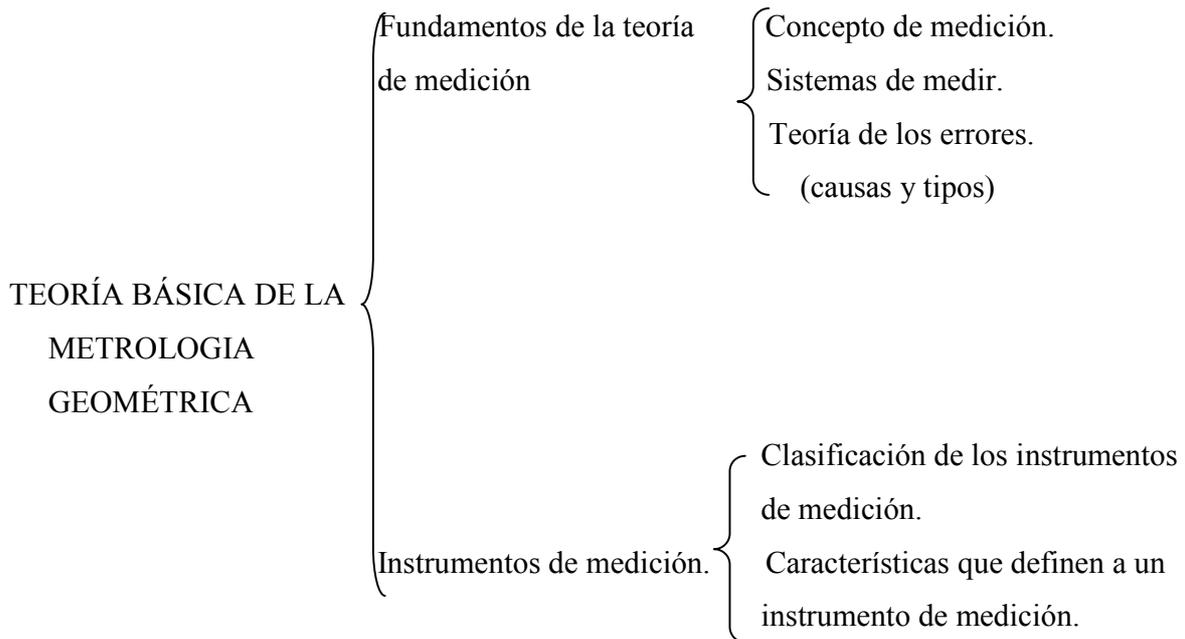
El piso debe recubrirse con materiales ahulados como el linolio, ya que el piso de cemento es totalmente inadecuado debido a la formación de polvo.

Las mesas de trabajo deben ser rígidas para que no sufran vibraciones al apoyarnos, así los aparatos de medición que están montados entre dichas mesas, no sufran alteraciones en su funcionamiento provocando error en la medición.

## ***CAPÍTULO 2***

### ***TEORÍA BÁSICA***

Para poder cumplir con el objetivo de la metrología, es necesario conocer los conceptos básicos en que se finca la teoría de la medición, para lo cual se establece el siguiente cuadro:



## **2.1 FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE MEDICIÓN**

### **2.1.1. Concepto de medición**

El concepto de medición se define como "el resultado de una comparación cuantitativa, entre un patrón predefinido y una magnitud desconocida", si el resultado va a ser significativo, dos condiciones deben reunirse en el acto de medir y éstos son:

- a) Que el patrón usado para la comparación sea conocido y aceptado comúnmente.
- b) El procedimiento y los aparatos empleados para obtener la comparación, deben ser comprobables.

Entre el concepto de medición anteriormente citado y otros que existen, se tienen en común la acción de comparar, por lo que con frecuencia se dice que "medir significa comparar correctamente".



materializan a la longitud del metro. Las proporciones son tales, que el plano neutro de la sección se encuentra en esta superficie.

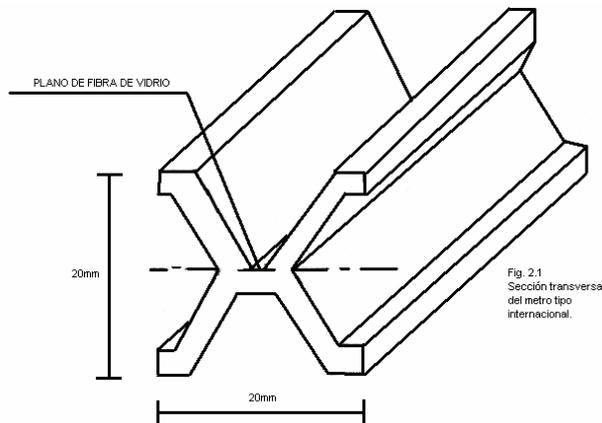


Fig. 2.1  
Sección transversal  
del metro tipo  
internacional.



**Figura 2.2. El metro patrón**

#### **b) Sistema inglés.**

El sistema inglés se utiliza principalmente en la Commonwealth Británica y en los Estados Unidos, teniendo cada uno de ellos un patrón representativo.

El patrón Británico es la “yarda tipo imperial” que se conserva en el departamento del Comité de Comercio (Standards, department of the board of trade). La definición actual de este patrón se ha logrado también mediante modificaciones hechas desde el siglo XIII, en que se construyó el patrón de una barra de bronce de sección rectangular del tipo de caras rectangulares. En 1885 se legalizó el patrón actual y consiste en una barra de bronce de 38 pulgadas de longitud y de una pulgada cuadrada de sección. En la superficie superior de la barra hay dos cavidades circulares cuyos centros distan 36 pulgadas, tienen media pulgada de diámetro y media de profundidad, en el fondo de cada una hay una clavija de oro de una décima de pulgada de diámetro. La forma de la barra se indica en la figura 2.3 y puede apreciarse que las superficies de las clavijas de oro están en el plano neutro de la barra, donde los efectos de pandeo son mínimos.

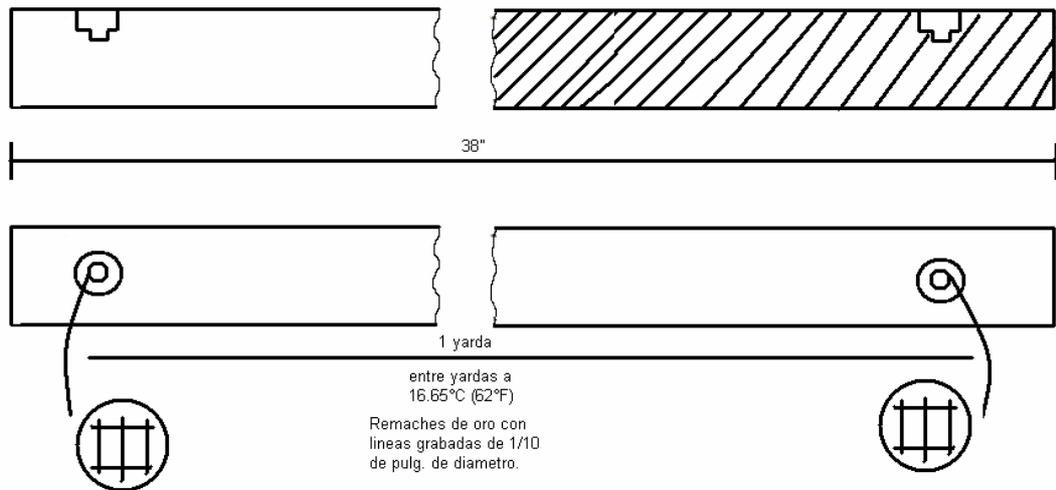
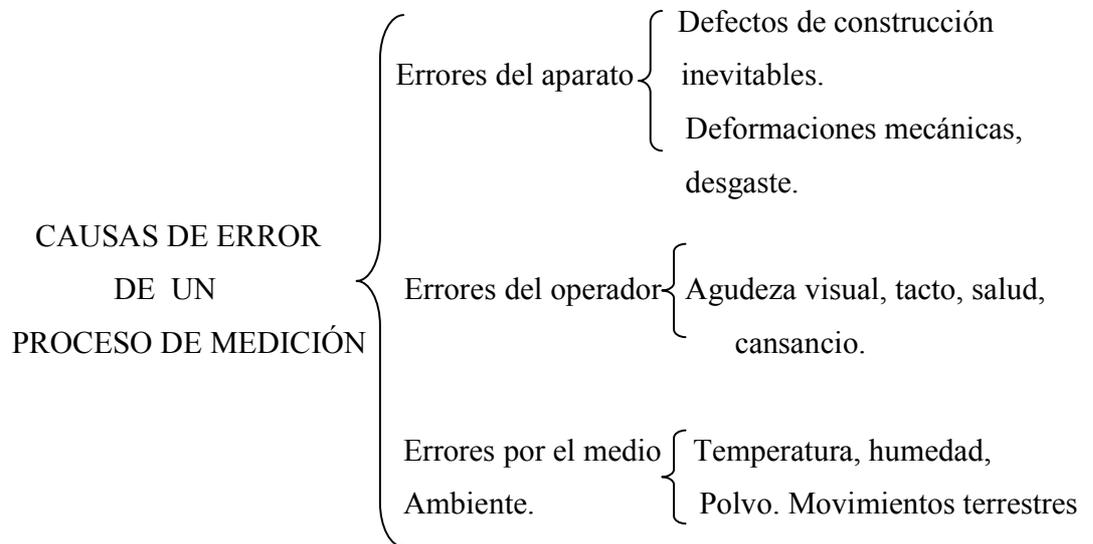


Figura 2.3. Forma del patrón de la yarda imperial

## 2.2. TEORÍA DE LOS ERRORES

Al realizar un proceso de medición, no es posible evitar una serie de errores pero si buscar que estos sean mínimos.

A continuación se muestra un cuadro en el que se resume las distintas causas de error que se presentan en un proceso de medición.





**2.2.1. Errores del aparato.**

Defectos de construcción.- los equipos de medición llegan a las manos del usuario u operador con un cierto error, el cual, al usarse se debe corregir la medición realizada, al aplicar un factor de corrección que el mismo fabricante proporciona para este propósito.

Este error se debe a las imperfecciones de maquinado y construcción del aparato o equipo de medición, como es sabido, es difícil y sumamente costoso hacer piezas exactamente iguales, pero si se busca que estas piezas estén dentro del rango dimensional permisible.

El factor de corrección mencionado anteriormente, es obtenido por el fabricante a través de estudios y ensayos, el cual trata de compensar el error involuntario con que funciona el aparato o equipo de medición.

Los factores que generan error debido al equipo de medición pueden ser los siguientes:

- Articulaciones y juegos
- Defectos de rectitud y forma
- Peso, concetricidad, inclinación de contactos
- Defectos de alineamientos y centrado

Otras causas de error del aparato, son debidas a las deformaciones mecánicas y pueden ser las siguientes:

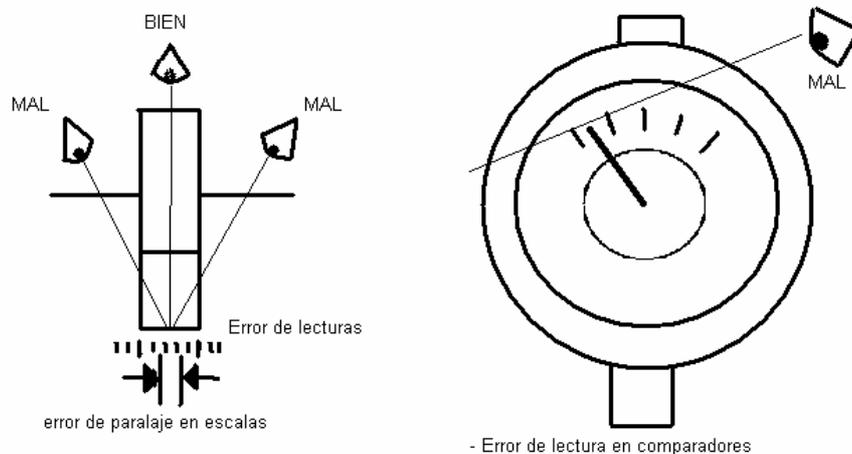
1. Deformaciones permanentes debidas al desgaste
2. Deformaciones elásticas debidas a:
  - Compresión general
  - Compresión local
  - Flexión, torsión

Por las razones antes descritas, se recomienda que los equipos de medición se verifiquen convenientemente con cierta frecuencia, los elementos necesarios para hacerlo correctamente los veremos mas adelante.

### 2.2.2. Errores del operador

Los errores de medición personales son naturalmente inevitables pero pueden disminuirse mediante la práctica, de tal modo que el operador en su función de medir deberá tener cuidado en incurrir en ellos en el menor grado posible. Los errores principales que el operador puede cometer son los siguientes:

**Error de paralaje.** Este resulta de la incorrecta posición del operador para leer la lectura que indica el aparato, la manera recomendable es que el operador se coloque en posición perpendicular a la escala o carátula donde deberá hacer la lectura.

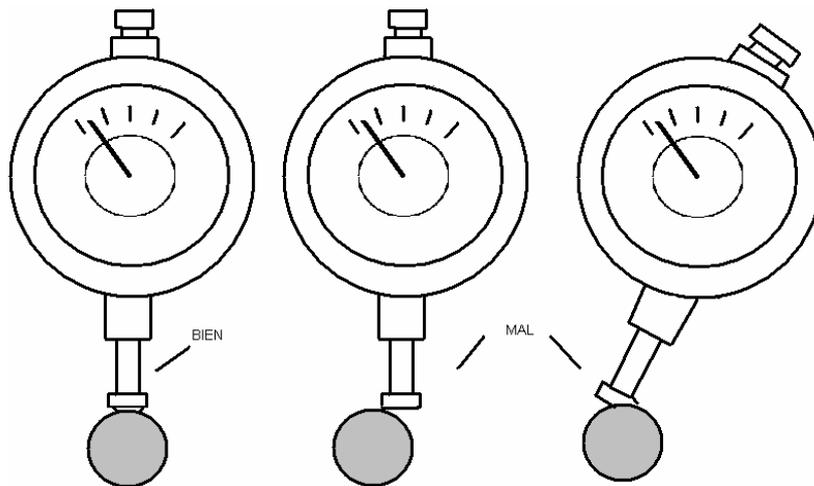


*Figura 2.4. Error de paralaje*

**Error de precisión.**- Este sucede cuando el aparato o instrumento carece en su construcción, de algún elemento que neutralice o regule un exceso de esfuerzo utilizado en el manejo del aparato. En la medición propiamente dicha no debe olvidarse que si la acción se efectúa con mayor o menor esfuerzo, se producirá una medición de lectura de valor distinto que dependerá del grado de esfuerzo utilizado debido a aplanamientos de las superficies de contacto de dicho instrumento.

También se tiene el caso, cuando se utilizan calibres que al sujetarlo manualmente con una fuerza mayor a la necesaria, la sensibilidad disminuye.

**Error de posición.**- Otra fuente de errores, estriba en la colocación incorrecta de los aparatos o instrumentos a utilizar o también de las piezas a medir. En casi todos los procesos de medición de longitudes, los instrumentos o aparatos deberán colocarse perpendicular paralelamente a la superficie de cuya dimensión se desea medir.



*Figura 2.5. Error de posición de un comparador*

### 2.2.3 Error por el medio ambiente.

En todas las mediciones efectuadas, en la construcción de elementos de maquinas de precisión, así como en la determinación o verificación de dimensiones de precisión, el medio ambiente en el cual se trabaja es de suma importancia para obtener resultados satisfactorios y de mayor seguridad.

Los factores que intervienen en el error por medio ambiente son los siguientes:

- a) Humedad
- b) Polvo
- c) Temperatura

De estos factores ya se mencionaron anteriormente los dos primeros incisos, por lo que ahora nuestra atención estará en el factor temperatura.

Error por temperatura. puesto que las dimensiones de los cuerpos sólidos varían al cambiar la temperatura a que se encuentran, se ha fijado para la medición de los productos de precisión una temperatura de referencia internacional ya antes mencionada ( $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ ). Por temperatura de referencia se entiende a la temperatura a la que los equipos y las piezas presentan su valor nominal.

En el error por temperatura interviene a su vez los siguientes factores:

- a) Variaciones de temperatura en la sala de mediciones
- b) Influencia del calor debido a la iluminación artificial y de las radiaciones solares
- c) Temperatura del cuerpo humano

**a) Variación de temperatura en la sala de medición.**

Es indudable que una comisión importante para las mediciones técnicas, es la observación y conservación de una temperatura uniforme en la sala de medición, tanto en la pieza medir como del instrumento utilizado para dicho efecto. Esta condición debe mantenerse ante todo para mediciones absolutas. Para mediciones relativas, el valor de su temperatura o su constancia, por lo que hace referencia a la sala de medición será de menor influencia.

En el primer caso de los citados anteriormente, aparatos y pieza deben someterse durante el tiempo necesario, a la temperatura de la sala de medición ( $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ).

En las mediciones relativas se debe presentar la misma temperatura, no importando que sea de  $18,20$  o  $22^\circ\text{C}$ , en el calibre de ajuste o calibre de contraste para calibrar el aparato de medición y en la pieza que se desee medir.

En la práctica, es suficiente una sala de medición con una diferencia de temperatura de  $1^\circ\text{C}$ .

Las diferencias de temperatura entre la pieza medir y el instrumento a utilizar, dan lugar inevitablemente a errores de medición.

**Corrección del error por temperatura**

La medida de una longitud hallada a una temperatura distinta a la de referencia, debe corregirse para conocer la medida a esta temperatura. Si el material de la pieza que se mide, tiene el mismo coeficiente de dilatación térmica que el patrón de comparación, la corrección se realiza aplicando la siguiente ecuación:

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

$L_{20}$  = longitud del patrón o pieza a la temperatura de  $20^\circ\text{C}$

$L_t$  = longitud de la pieza a la temperatura  $t$

$t$  = temperatura a la que se realiza la medición

$\alpha$  = coeficiente de dilatación térmica de la pieza y el patrón

Una ecuación general que se aplica para cualquier temperatura es la siguiente:

$$\Delta l = \alpha l_i (\Delta t)$$

donde :

$$\Delta l = l_f - l_i$$

$$\Delta t = t_f - t_i$$

Cuando el material de la pieza y del patrón, tienen diferente coeficiente de dilatación térmica y la medición se hace a una temperatura distinta a la de referencia, la corrección se hará con ecuación siguiente:

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

donde:

$L_{20}$  = longitud del patrón o pieza a la temperatura de 20°C

$L_t$  = longitud de la pieza a la temperatura  $t$

$t$  = temperatura a la que se realiza la medición

$\alpha$  = coeficiente de dilatación térmica de la pieza y el patrón

$\alpha''$  = coeficiente de dilatación de la pieza

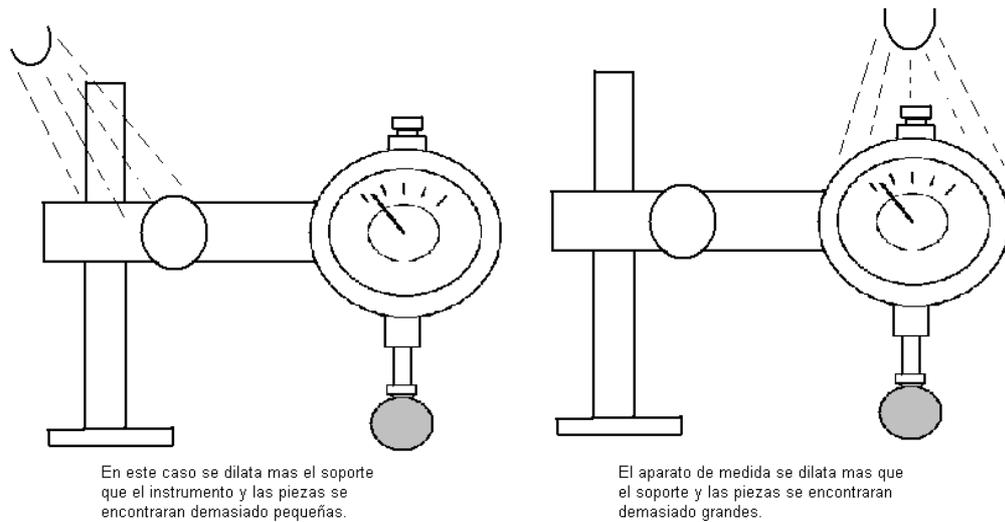
En la tabla 2.1 se proporcionan los coeficientes de dilatación térmica para algunos materiales metálicos. Para los calibres de acero se puede tomar  $\alpha = 11.5 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$ , de no haber indicación contraria por parte del fabricante.

**Tabla 2.1. Coeficiente de dilatación térmica para algunos materiales**

Material	Coeficiente	Material	Coeficiente
Acero dulce	$11.5 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$	Cobre	$16 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$
Acero templado	$12.0 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$	Latón	$18 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$
Aluminio	$22.0 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$	Invar.	$1.3 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$
Bronce	$10 \text{ a } 22 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$	Magnesio	$24 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$

**b) Influencia del calor generado por los rayos solares o por la iluminación artificial.**

No hay que olvidar, que en la medición, la influencia de la temperatura debida al calor de los rayos solares o de las lámparas de alumbrado, dan lugar de inseguridad en las operaciones de medición, por lo cual, se recomienda hacer una distribución adecuada. En la figura 2.6 se puede ver el comportamiento de los equipos de medición con respecto a las lámparas de alumbrado.



*Figura 2.6. Influencia de las lámparas de alumbrado en los equipos de medición.*

### **Temperatura del cuerpo humano.**

La temperatura del cuerpo humano juega un papel importante en las operaciones de medir:

- 1) cuando el operador sujeta con la mano un instrumento de medición que no tenga empuñadura aislada (el aislamiento elimina la influencia del calor de la mano).
- 2) Cuando se trata de ajustar algún equipo de medición usando galgas patrón, no se deben sostenerse en la mano demasiado tiempo (sólo el necesario). Para mediciones de precisión, debe evitarse un contacto directo entre operador y los instrumentos de medición usados, por lo que se recomienda que en el trabajo se usen guantes o algún otro material aislante

## ***CAPÍTULO 3***

### ***INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN***

#### **3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.**

Debido a la gama tan amplia de instrumentos de medición que hay en el mercado, su clasificación se hace de la siguiente manera:

- a) Por el tipo de medición que realizan
- b) Por el sistema de funcionamiento con que trabajan

**a) Por el tipo de medición que realizan** { Instrumentos de medición directa  
Instrumentos de medición indirecta

#### **Instrumentos de medición directa.**

En este grupo, que tienen los instrumentos capaces de darnos lecturas directas sobre una escala graduada, de una manera directa e inmediata sin necesidad de ajustar acero o a otro valor cualquiera a los equipos de medición. Como ejemplo podemos mencionar: calibrador con vernier, tornillo micrométrico y aquellos que funcionan con el mismo principio, etc.

#### **Instrumentos de medición indirecta.-**

Se agrupan aquí, a los instrumentos que para que puedan usarse, es necesario ajustarlos a un cierto valor con la ayuda de un patrón o calibre y las lecturas son valores diferenciales con respecto al valor con que fue ajustado. También se incluyen en este grupo a los llamados calibres "pasa no pasa", que son de dimensión fija. Algunos instrumentos que están en este grupo son: reloj indicador de carátula, comparador óptico, comparado neumático, proyector de perfiles, etc.

**b) Por su sistema de funcionamiento.** { Mecánicos  
Ópticos  
neumáticos  
Eléctricos  
Electrónicos  
Mixtos

### **3.2. CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN A UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN**

Características  
Principales.

- 
- 1.- tipo de medición que realizan
  - 2.- tipo de funcionamiento
  - 3.- sistema de graduación
  - 4.- legibilidad
  - 5.- capacidad o rango de medición
  - 6.- precisión

## **CAPITULO 4**

### **PATRONES**

#### **4.1 GENERALIDADES**

Los patrones son objetos que materializan una unidad o una magnitud determinada, con el mayor grado de precisión posible y con la máxima inalterabilidad. Es decir, los patrones de longitud materializan por ejemplo: al metro (o la yarda), y en el taller, a un número determinado de milímetros o fracciones de milímetro.

#### **4.2 CLASIFICACIÓN**

Por el grado de precisión con que están hechos los patrones, se clasifican en:

- 1) Patrón prototipo internacional
- 2) Patrón primario
- 3) Patrón secundario
- 4) Patrón de taller

Por la forma de materializar la longitud que representan, los patrones pueden ser:

- 1) Patrones de trazos
- 2) Patrones de caras paralelas
- 3) Patrones de extremos esféricos
- 4) Patrones cilíndricos

#### **4.3 DESCRIPCIÓN**

##### **4.3.1 Patrones prototipo internacional**

El patrón prototipo internacional y los patrones primarios son patrones de trazos de longitud nominal de un metro a 0°C y están contruidos de platino iridiado, con un contenido de 10% de iridio.

Una serie de treinta y un patrón de estas características fue construida, y aquel de ellos cuya longitud a 0°C era la más próxima al metro de los archivos de junio de 1799, fue escogido como prototipo internacional.

#### **4.3.2 Patrón primario**

De los 30 patrones restantes (refiriendo nos al inciso anterior), cada uno de los cuales no difería del prototipo en más de 0.003 milímetros, fueron repartidos entre los países adheridos a la convención del metro y les sirven de patrones primarios oficiales.

#### **4.3.3 Patrón secundario**

Los patrones secundarios son construidos a partir del patrón primario nacional, para las necesidades de las oficinas oficiales de metrología y para las fábricas de aparatos de precisión, utilizando que entonces como patrón para operaciones de contraste o calibrado.

#### **4.3.4 Patrón de taller**

Los patrones de taller son aquellos que se utilizan para el contraste o comprobación de los instrumentos de medición empleados para las fabricaciones mecánicas.

Estos son del tipo de topes o superficies de referencia (que se verá a continuación), y una de sus dimensiones materializa la cota nominal grabada sobre ellos, con una aproximación variable según el tipo y la propia cota nominal, pero en general es del orden de una mica.

Sus formas son diversas y algunas son similares a la de los instrumentos de medida y comprobación utilizados en el taller, pero suelen diferenciales en estos últimos por su grado de precisión y por el uso que de ellos se hace ya que según hemos indicado, sólo se emplean para las comprobación de los instrumentos de medida y nunca para la medición o comprobación directa de piezas.

Los patrones de taller se construyen de aceros especiales templados, en general son aceros al cromo. Los tipos de acero varían según el fabricante, pero en cualquier caso el patrón debe tener una dureza del orden de 60 a 64 rockwell para que presente una buena resistencia al desgaste, así como una buena estabilidad estructural para evitar las variaciones de cota debidas a los cambios de estructura.

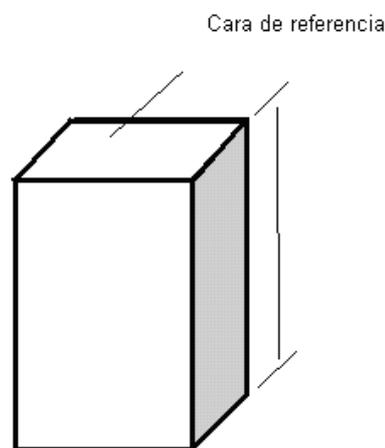
#### **4.3.5 Patrones de trazos**

Los patrones de trazos se caracterizan, en que su longitud queda determinada por la distancia entre los trazos sobre una superficie plana, como ejemplo tenemos el caso de metro patrón.

#### **4.3.6 Patrones de caras paralelas**

Los patrones de caras paralelas o de superficies planas son también conocidas con el nombre de galgas patrón o galgas Johansson y su longitud queda determinada por la distancia entre dos superficies rigurosamente planas y paralelas. Fueron perfeccionadas por el ingeniero sueco de ese mismo nombre.

Estos patrones están constituidos por pequeños bloques paralelepípedos como se muestra en la figura 4.1, son de acero templado y estabilizado de gran dureza. Todas las caras de estos bloques están finalmente rectificadas y dos de ellas tienen un acabado superficial extrafino, sino perfectamente plana y paralelas, distando entre si no longitud nominal grabada sobre el patrón a la temperatura de referencia de 20°C.



**Figura 4.1. Galga Johansson de caras paralelas**

La particularidad de estos patrones, en la de que se pueden agrupar por superposición (hasta 5 máximos) de modo que la longitud del grupo formado, será dentro de los límites de precisión requeridos para su empleo como patrón.

La galgas patrón se presentan y utilizan como juegos o colecciones de un número determinado de galgas de dimensiones escalonadas de tal forma, que, combinando un número reducido de ellas pueda formarse cualquier medida comprendida entre sus límites de empleo, siendo la diferencia entre las combinaciones más próximas de 0.01; 0.005 o 0.001mm según la composición del juego del que se disponga.

Para formar una medida determinada se comienza por la galga que nos da la tercera cifra decimal, después se añaden los que den la segunda y la 1ª cifras decimal así sucesivamente por un ejemplo si tratamos de formar la medida de 37.425mm; con el juego de 33 galgas, se tiene: 1.005, 1.02, 1.4, 4 y 30 que aplicadas darían la dimensión buscada.

$$1.005+1.02+1.4+4+30=37.425 \text{ mm}$$

Si se dispusiera de un juego más completo, por ejemplo de 109 galgas, se podrían lograr la combinación con sólo 4 galgas, tomando las siguientes:

$$1.005+1.42+5+30=37.425\text{mm}$$

### **Precisión de las galgas patrón.**

Están disponibles en varios grados dependiendo de su uso previsto.

- Referencia (AAA) - pequeña tolerancia ( $\pm 0.00005$  milímetros o  $0.000002$  adentro) establecían estándares
- La calibración (AA) - (tolerancia  $+0.00010$  milímetros a  $-0.00005$  milímetros) calibraba bloques de la inspección y calibrar de la precisión muy alta
- Inspección (a) - (tolerancia  $+0.00015$  milímetros a  $-0.00005$  milímetros) usado como toolroom estándares para fijar otras herramientas que calibran
- Taller (b) - tolerancia grande (tolerancia  $+0.00025$  milímetros a  $-0.00015$  milímetros) usada como estándares de tienda para la medida de precisión

Designaciones más recientes del grado incluyen (los E.E.U.U. Especificación federal GGG-G-15C):

- 0.5 - generalmente equivalente al grado AAA
- 1 - generalmente equivalente al grado AA
- 2 - generalmente equivalente al grado A+
- 3 - grado del compromiso entre A y B

y ANSI/ASME B89.1.9M, que define desviaciones absolutas de dimensiones nominales y límites del paralelismo como criterios para la determinación del grado. Generalmente, los grados son equivalentes a los E.E.U.U. anteriores Grados federales como sigue:

- 00 - generalmente equivalente al grado 1 (la mayoría de los requisitos exigentes de la llanura y de la exactitud)
- 0 - generalmente equivalente al grado 2
- AS-1 - generalmente equivalente al grado 3 (está parado según se informa para el estándar americano - 1)
- AS-2 - generalmente menos exacto que el grado 3
- K - generalmente equivalente a la llanura del grado 00 (paralelismo) con exactitud del grado AS-1

El estándar de ANSI/ASME sigue una filosofía similar según lo dispuesto en ISO 3650. Vea la referencia del NIST abajo para una información más detallada sobre las tolerancias para cada tamaño del grado y de bloque.

La planitud de las caras es tan perfecta que, al formar las combinaciones las galgas quedan fuertemente adquiridas por la atracción molecular, pudiendo llegar a hacer el esfuerzo necesario para su separación del orden de 18 a 20 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que es necesario que estas tengan una película delgadísima del lubricante entre las superficies de contacto para evitar el agarrotamiento e incluso su soldadura en frío, que destruiría la calidad de la superficie en las galgas y por consiguiente su precisión. Desde luego que esta capa del lubricante da lugar a error en la longitud de la combinación. Equivalente a 0.02 micras (0.00002mm) cuando el operador es cuidadoso y aún, utilizando un exceso del lubricante el error no llega a 0.01M.

Las galgas de muy pequeño espesor deben emplearse con otras de mayor espesor para evitar deformaciones de planitud y paralelismo.

Para prever errores ocasionados por diferencias de temperatura los fabricantes dan a conocer el coeficiente de dilatación, por ejemplo, en las galgas de la precisión mecánica el coeficiente de dilatación es de 11.7M.

Conocidos estos valores máximos de error, pueden calcularse los límites de error de una combinación dada. Por ejemplo la combinación 37.425 mm formado por:

1.005+1.42+5+30 y supuestamente ejecutadas con galgas de calidad R; los errores máximos son:

- E1.- Error de la galga 1.005 \_\_\_\_\_ 0.000051mm
- Error de la galga 1.42 \_\_\_\_\_ 0.000051mm
- Error de la galga 5.0 \_\_\_\_\_ 0.000054mm
- Error de la galga 30.0 \_\_\_\_\_ 0.00008 mm
- Error total de longitud de las galgas +-0.000236 mm
- Aproximadamente +- 0.00024 mm

E2.- Error por las tres adherencias, el error estimado es de: +0.00002\*3=0.00006 mm

E3.- Error por dilatación; considerando la medición hecha a una temperatura de 20°C con una tolerancia de 0.5°C, el error máximo introducido en la medición será de:

$$\pm 37.425mm = 0.037425m \times \frac{0.0117mm}{m^{\circ}C} = \pm 0.00044mm$$

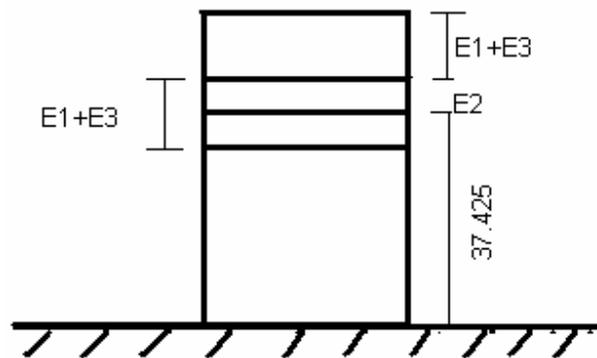
El error máximo de la combinación es:

E1.- Por error de longitud 0.00024mm

E2.- Por adherencia 0.00006mm

E3.- por dilatación 0.00044mm

$$\text{Límites de error} \begin{cases} +0.00074\text{mm} \\ -0.00062\text{mm} \end{cases}$$



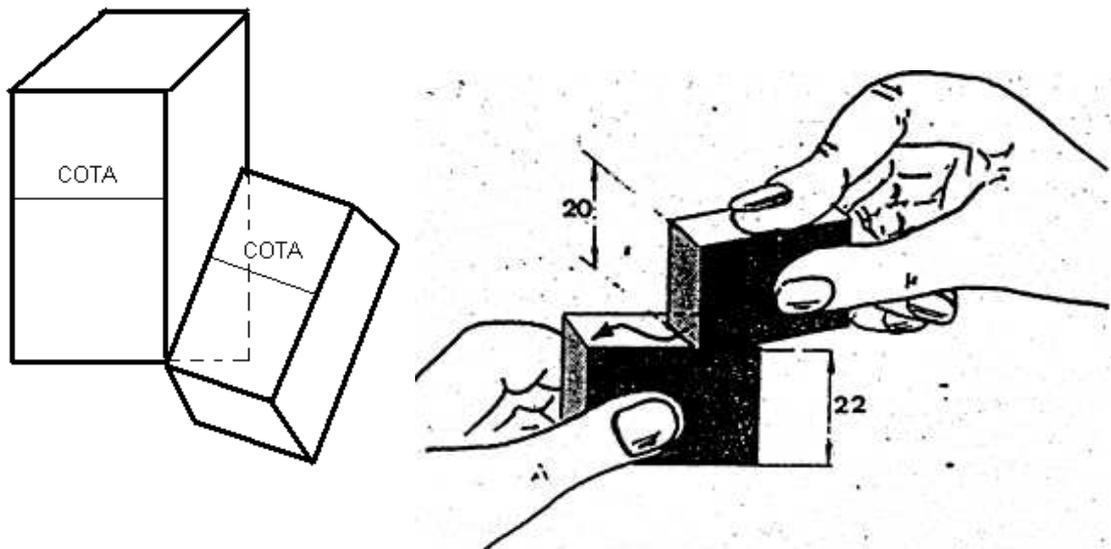
*Figura 4.2.*

#### **Precauciones para el manejo de las galgas patrón.**

Debido a que las galgas patrón tienen un precio de adquisición elevado y además porque sirven de base a toda la fabricación. De la que, como patrones garantizan la calidad en cuanto a precisión dimensional, es indispensable tratarlas adecuadamente para que conserve sus características con las cuales fueron fabricadas a continuación se indican algunas recomendaciones a seguir para la conservación de la galgas.

- 1.- Evitar dejar la galgas en atmósfera humana, hacina o con polvo abrasivo.
- 2.- No utilizan las galgas con las manos sucias o húmedas.
- 3.- Antes de utilizar, limpiar las cuidadosamente con una gamuza, sin utilizar disolventes para desengrasar las, tales como la gasolina, etc.
- 4.- Después de limpiarlas debe quedar una ligerísima película lubricante que, como se ha dicho, facilita la adherencia evitando el agarrotamiento.
- 5.- Limpiar cuidadosamente las piezas a verificar, que tengan que estar en contacto con las galgas.

- 6.- No forzar nunca una combinación de galgas al hacer contacto con alojamientos a verificar (boca de calibre por ejemplo). La cota precisa ha de estimarse por tratamiento sin esfuerzo.
- 7.- Evitar choques, caídas y cualquier otro maltrato.
- 8.- Las mediciones deben hacerse a la temperatura de referencia ( $20^{\circ}\text{C}+1$ ).
- 9.- Después de su uso limpiar cuidadosamente las galgas con una gamuza, de manera que no tienen huellas de los dedos.
- 10.- Engrasarlas cuidadosamente y perfectamente con un lubricante neutro. Existe en el mercado grasas especiales para galgas patrón y calibre, si no se dispone de ellas debe utilizarse vaselina neutra perfectamente pura, en este caso conviene limpiarlas cada 8 días y volver a engrasarlas.
- 11.- Para formar una combinación de galgas, éstas se une por sus caras de medición haciendo las deslizar con un movimiento de vaivén, como se indica en la figura 3.2. Y con ligera presión para que no quede aire entre ella y la adherencia sea perfecta.



*Figura 4.3. Combinación de dos galgas*

Existen soportes adecuados para sujetar las combinaciones de galgas con el fin de prever que por accidente, la combinación se descomponga y las galgas se caigan, figura 4.4.

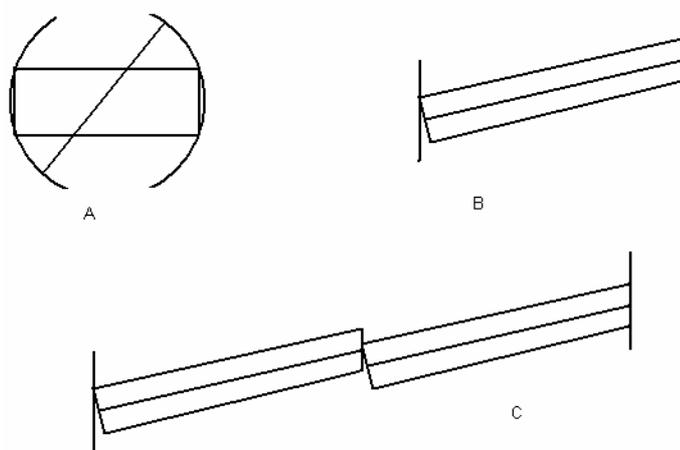


*Figura 4.4. Soportes para sujetar combinaciones de galgas*

#### 4.4. PATRONES DE EXTREMOS ESFÉRICOS

Este tipo de patrones tienen la forma de varilla cilíndrica de 12mm de diámetro determinados por los dos extremos en dos casquetes esféricos que forman parte de una misma superficie esférica cuyo centro se encuentra en el eje de la varilla, como se muestra en la figura 4.5a)

La cota nominal está materializada por el diámetro de la espera de la que forman parte los casquetes de los extremos: esto permite una cierta inclinación de la posición de la varilla cuando se emplea para la comprobación de la distancia entre dos superficies planas sin que la medición sea falseada, como se muestra en la figura 4.5a). Igualmente permite formar combinaciones a tope de dos varillas sin que un ligero efecto de alimentación falsee la medida, cosa que se demuestra en la figura 4.5c).



**Figura 4.5. Patrones de extremos esféricos**

Las varilla de extremos esféricos se emplean como patrón para la verificación de instrumentos de medida con palpadores planos, tales como micrómetros, es máquinas de medir y calibre de tolerancia para exteriores. Se recomienda su uso para longitudes superiores a 150mm, para las cuales son preferibles a las galgas patrón de caras paralelas.

La precisión de cota nominal de las varillas es variable según su longitud, esta última puede alcanzar hasta dos metros. Para dar una idea de las tolerancias de fabricación de las varillas de extremos esféricos se presenta la tabla 4.1.

**Tabla 4.1. Tolerancias de fabricación de las varillas de extremos esféricos**

<i>Longitud Nominal</i>	80 a 180	180 a 300	300 a 500	hasta 600
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
	± 0.001	± 0.0015	± 0.002	± 0.0025

#### 4.5. PATRONES CILÍNDRICOS

Los patrones cilíndricos son aquellos en la que la medida de referencia esta materializada por el diámetro de una superficie cilíndrica. Existen diferentes tipos de patrones cilíndricos y son los siguientes:

- a) Discos patrón
- b) Patrón tampón
- c) Anillos patrón

### a) Los discos patrón

Son discos perforados en su centro y de un cierto espesor, como se muestra en la figura 4.6, cuya cota de referencia ésta materializada por un diámetro exterior.



**Figura 4.6.**

Se utilizan montados de un mango o unos juegos montados sobre unos soportes cilíndricos como se muestra en la figura. Se les utiliza en la verificación de calibre de tolerancia del tipo de boca o de herradura, se les utilizar también para la comprobación de los instrumentos de medida para exteriores tales como: calibrador con vernier, micrómetros, etc., aunque para esta finalidad es preferible el empleo de galgas patrón de caras paralelas.

Las tolerancias con que se construyen estos discos son los siguientes:

<i>diámetro no min al</i>	0 a 10	10 a 30	30 a 80	80 a 100
<i>en mm</i>				
<i>tolerancia</i>	±0.001	±0.0015	±0.002	±0.0025

### b) El patrón tampón o patrón normal

Cuya formación muestra en la figura 4.7, formado por un cilindro cuyo diámetro tiene la medida de referencia en un mango para facilitar el manejo.

Se les conoce también con el nombre de calibres tapón que aunque su forma es parecida a la de los calibres tampón de tolerancias no deben confundirse con ellos: la diferencia fundamental reside en que, estos últimos no tiene una dimensión definida, sino que materializan una medida límite, con una tolerancia determinada, mientras que los patrones tienen una medida determinada (cota nominal) con una gran precisión.



*Figura 4.7. Patrón tampon*

**c) Los anillos patrón**

Como se muestran en la figura 4.8., son piezas en forma de anillo, cuyo diámetro del agujero materializa la cota de referencia gravada en ellos. Se construyen con precisión de una micra y se emplean para el control de los instrumentos de medición y verificación de interiores.



*Figura 4.8. Anillos patrón*

## CAPITULO 5

### COMPARADORES DE CARÁTULA

#### 5.1.- GENERALIDADES

Los comparadores son aparatos de medición indirecta (medición diferencial), que permiten efectuar la medida de una longitud por comparación después de calibrarse con un patrón que sirva de referencia (galgas patrón).

Este instrumento no entrega valores de mediciones, sino que entrega variaciones de mediciones (de ahí su nombre). Su exactitud esta relacionada con el tipo de medidas que se desea comparar, existiendo con resoluciones de 0.01 y .001 mm

Estos aparatos, bajo diversas formas son muy utilizados en los talleres y en las salas de metrología, dada la robustez y simplicidad de empleo en la mayor parte de ellos

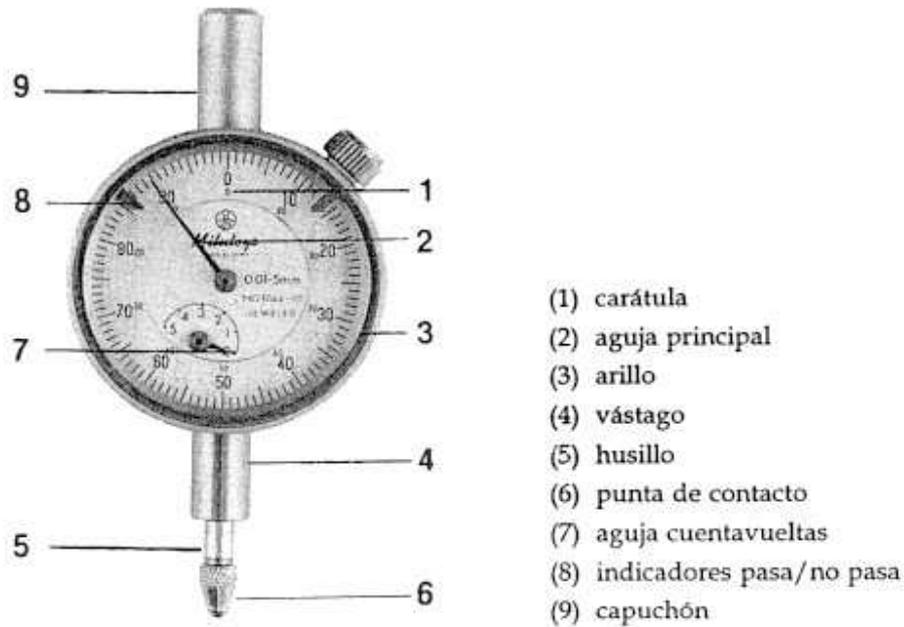
#### 5.2. COMPARADOR DE CARÁTULA.

El comprador de carátula (figura 5.1) es el aparato más empleado en los talleres de fabricación que además de usarse para efectuar una medida, también se les emplea para la verificación del ovalamiento, excentricidad y formas geométricas.



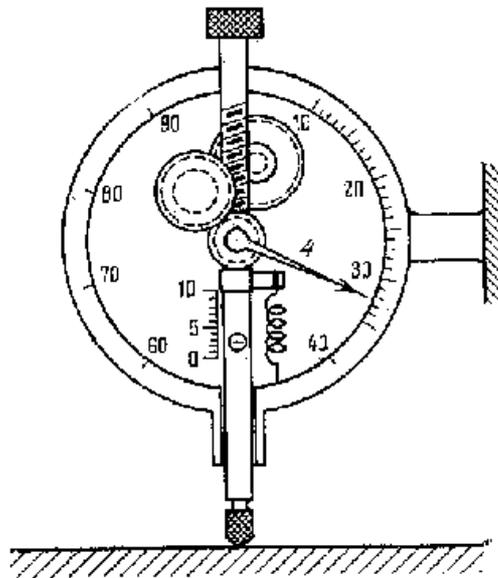
*Figura 5.1. Comparador de carátula*

Las partes que constituyen a un comparador se muestran en la figura 5.2.:



*Figura 5.2. Elementos de un comparador de carátula*

Su construcción es similar a un reloj, figura 5.3, consta de una barra central en la que está ubicado el palpador en un extremo y en el otro posee una cremallera que está conectada a un tren de engranes que amplifican el movimiento, finalmente este movimiento se transmite a una aguja que se desplaza en un dial graduado



*Figura 5.3. Elementos que constituyen un comparador de carátula*

El comparador no es un instrumento independiente, para hacer mediciones se requiere de un plano de referencia y de un aditamento sujetador del comparador, figura 5.4.



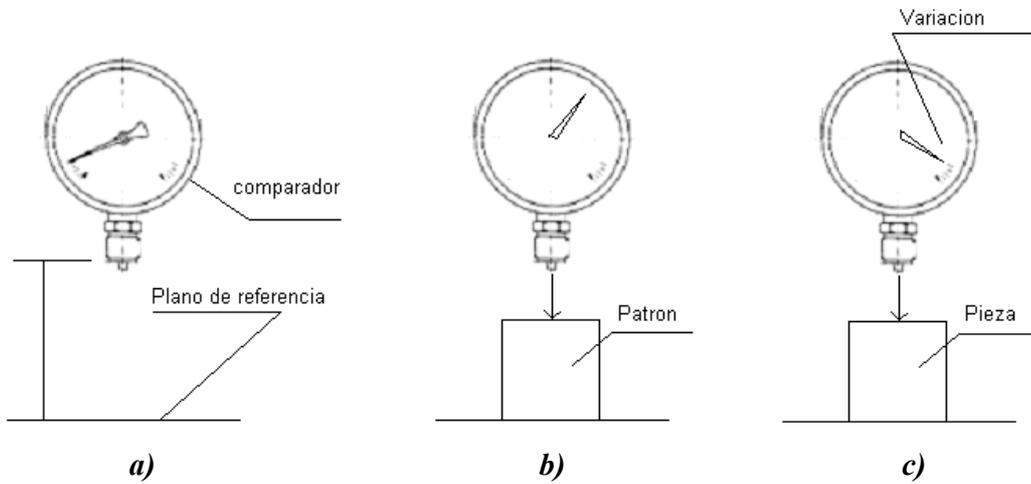
*Figura 5.4. Trabajando con un comparador de carátula.*

### 5.2.1. Método de operación

Para realizar la medición con el comparador se procede como sigue:

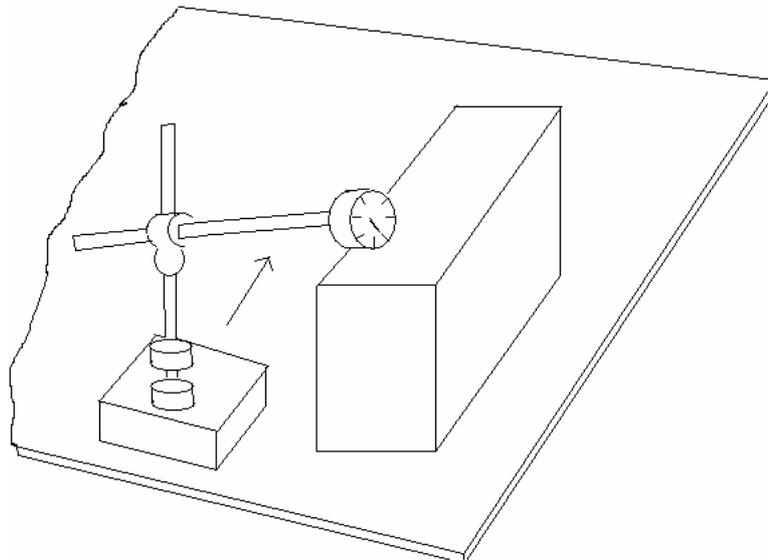
- 1) Coloque el comparador en el soporte
- 2) Limpie la pieza sometida a verificación
- 3) Coloque la pieza según la verificación a efectuar
- 4) Si la verificación se va a hacer por comparación, colocar la pieza sobre un mármol o placa rectificadora
- 5) Para verificar excentricidad, colocar la pieza entre puntos
- 6) Ajuste comparador mediante bloques o galgas patrón, si se va a verificar una magnitud por comparación, usando un plano (figura 5.5a)), ajuste el cero del cuadrante en coincidencia con la aguja.
- 7) Sustituya al patrón de medida con la pieza a verificar, la indicación del aguja en el cuadrante será ahora la correspondiente al desplazamiento del palpador, o sea la diferencia entre la medida de patrón y la de la pieza, figura 5.5b)

- 8) En la verificación de excentricidad coloque el palpador sobre la pieza en el punto de menor dimensión desplazándolo para obtener la diferencia de cota



**Figura 5.5. Medición con comparador de carátula**

En los trabajos de verificación en los que el comparador se utiliza para medir diferencia de cota en una misma pieza y dimensión, se procede como se muestran la figura 5.6, el comparador se ajusta a cero sobre la cota mínima y después, por desplazamiento del comparador o la pieza, se van observando diferencias de las cotas de los restantes puntos, manteniendo constantes la distancia entre cuerpo del comparador y la base o sistema de referencia en que se sostiene la pieza.



**Figura 5.6. Verificación de una pieza con un comparador de carátula utilizando un soporte magnético y un plano de referencia**

### **5.3. COMPARADOR DIGITAL**

Es un instrumento de medición que se utiliza en los talleres e industrias para la verificación de piezas, es útil para comparar las diferencias que existen en la cota de varias piezas que se quieran verificar.

Es un instrumento muy útil para la verificación de diferentes tareas de mecanizado, especialmente la excentricidad de ejes de rotación.

Disponible en dos rangos de medidas:

- 0-10 mm / 0,5"
- 0-25 mm / 0-1"



*Figura 8.3. Indicador digital de insize ins121101*

## CAPÍTULO 6

### CALIBRADOR CON VERNIER

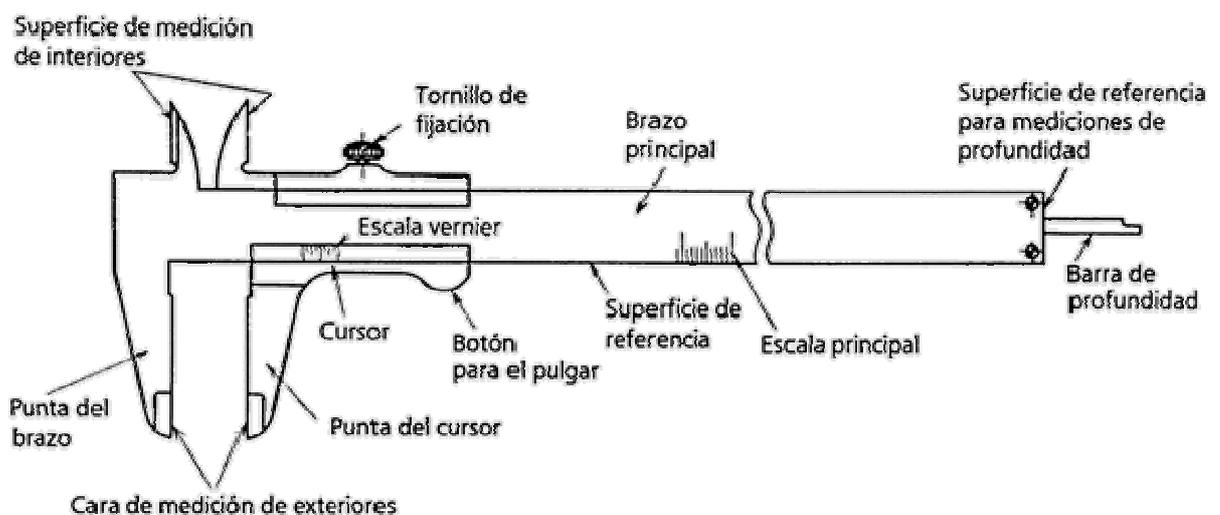
#### 6.1 GENERALIDADES

El calibrador con vernier es un instrumento de medición indirecta (figura 6.1), que se usa ampliamente debido a su versatilidad de aplicación de aquél es posible utilizarlo para medir exteriores, interiores y profundidades dentro de su capacidad lectura y la legibilidad del mismo.

Los calibradores con vernier más corrientes, consisten de una regla graduada que forma una escuadra, en esta regla se desliza otra escuadra más pequeña también graduada llamada nonio o vernier, como se muestra en la figura.

#### 6.2 DESCRIPCIÓN.

Como se dijo anteriormente el calibrador con vernier está constituido por una regla de acero graduada, en cuyo extremo del lado del origen de la escala se prolonga hacia abajo en forma de un brazo preservando la forma de una escuadra, el brazo antes mencionado recibe el nombre de palpador fijo y es donde se apoyan un lado de la pieza por medir. El otro lado de la pieza, que apoya en otro brazo llamado palpador móvil similar al anterior, formando otra escala graduada pero más pequeña llamada nonio o vernier, esta segunda escala o nonio, se desliza longitudinalmente sobre la regla o escala principal tal modo que los escalones de ambos están una frente a la otra, es decir, la pieza colocada entre los dos palpadores (móvil y fijo) determinan una posición de la escala móvil con respecto al origen de la escala fija.



*Figura 6.1. Elementos que constituyen un vernier o calibrador*

Estos instrumentos son fabricados de acero inoxidable tratados térmicamente, la superficie de medición o palpadores son ratificados incurridos para lograr mayor seguridad en la medición, el espesor de las graduaciones tanto de la escala principal como de la vernier o nonio deben estar entre 0.0025 y 0.0035 pulgadas, según las norma inglesa 85887:1950. El error máximo permisible según la norma mencionada anteriormente, es la siguiente:

Para graduaciones hechas en el sistema métrico decimal.

Hasta 300mm	± 0.02mm
De 300 a 600	± 0.04mm

Para graduaciones hechas en el sistema inglés

hasta 12 pulgadas	± 0.001 pulgadas
De 12 a 24 “	± 0.0015 “
De 24 a 48 “	± 0.0020 “

El principio de la graduación del nonio estriba principalmente en dividir la longitud marcada sobre la reglilla de nonio. De tal modo que diez de sus partes corresponden a nueve de la regla principal, como se muestra en una figura 6.2. La distancia x, marcada sobre la regla principal B (escala fija) y dividámosla en diez partes iguales. Consideremos ahora la reglilla deslizante A de longitud igual a  $\frac{9}{10}x$  y divídase en diez partes iguales, entonces cada parte valdrá  $\frac{9}{100}x$  y por tanto será más pequeña que una división de la regla principal en una longitud igual a  $\frac{1}{100}x$ .

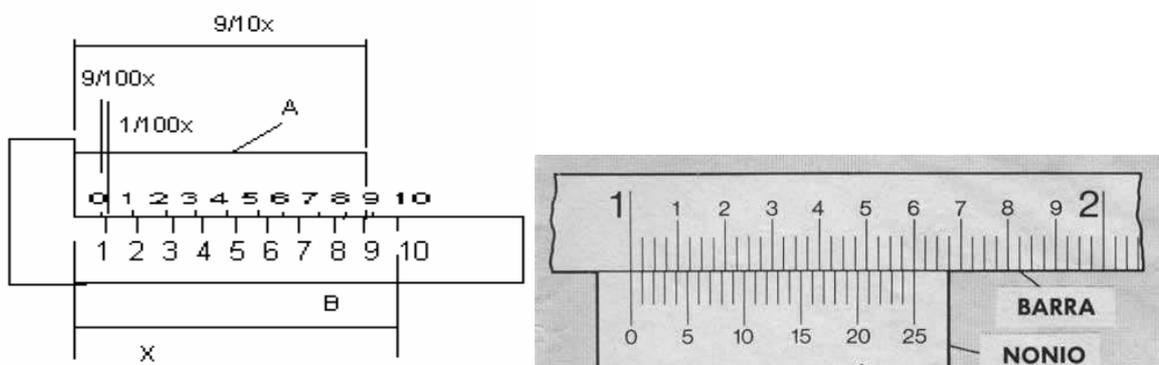
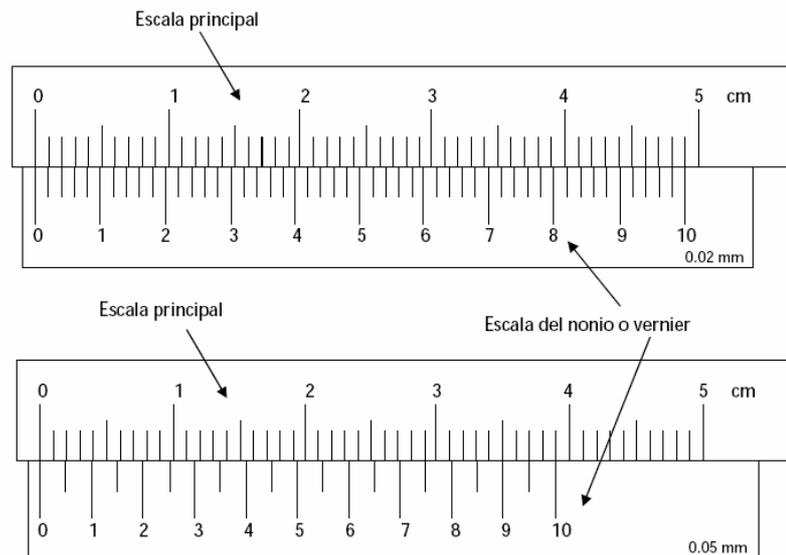


Figura 6.2. Principio de graduación del nonio o vernier.

Ahora, imaginemos deslizar la reglilla A (nonio) hacia la derecha hasta que las marcas 1 y 1' coincidan, indudablemente que el 0' se habrá desplazado del 0 una cantidad igual  $x / 100$ .

Cuando el 2' coincida con 2, el 0' se habrá desplazado  $2x / 100$  del 0 y así sucesivamente hasta hacer coincidir 10 con 10' que es cuando 0' ha recorrido una distancia equivalente a  $x / 10$ , o sea, una división completa de la regla principal o escala fija.

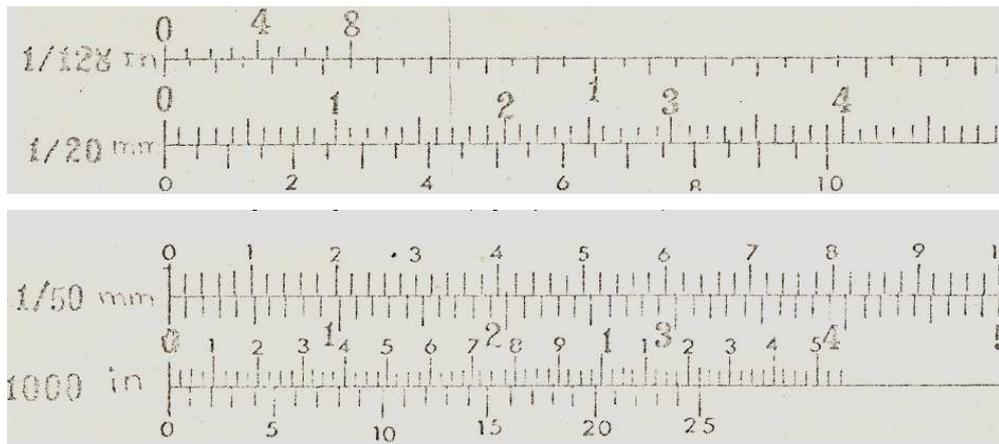
Lo nonios más corrientes de los calibradores con vernier son los dispuestos para medir décimas de milímetros que es precisamente el caso que se vio anteriormente, sin embargo son bastantes corrientes los dispuestos para medir veinteavos de milímetro y finalmente se tienen los que puedan apreciar cincuentavos de milímetros, figura 6.3. En el sistema inglés se tiene en dos opciones: en milésimas de pulgada y en ciento veintiochoavos de pulgada.



*Figura 6.3. Vernier para medir cincuentavos y veinteavos de milímetro.*

### 6.3. REPRESENTACIÓN DE LAS DIFERENTES GRADUACIONES DE LOS CALIBRADORES CON VERNIER.

Ordinariamente los calibradores con vernier llevan dos graduaciones sobre la regla principal, una expresada en el sistema métrico decimal y la otra en el sistema inglés con sus correspondientes nonios, figura 6.4

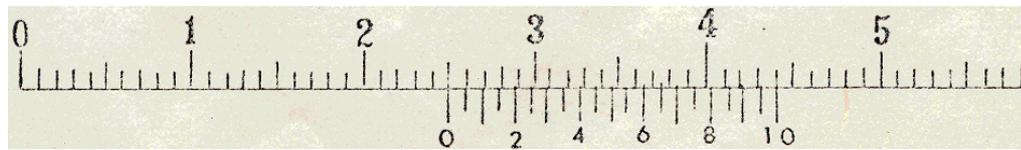


*Figura 6.4. Graduaciones métrica e inglesa*

#### 6.4. DETERMINACIÓN DE UNA LECTURA CON EL CALIBRADOR CON VERNIER

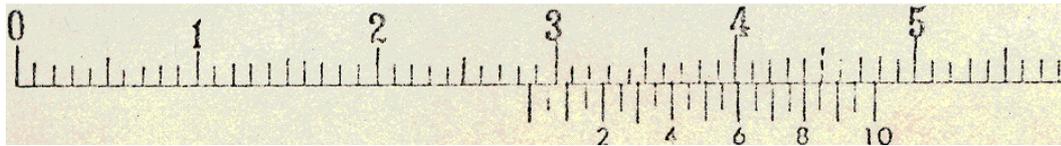
De acuerdo con lo anterior, la medida queda definida por una lectura inmediata, la cual se toma, observando la oposición del cero del nonio a la escala fija, si la línea del cero queda exactamente, coincidiendo con alguna división de la escala fija o principal, el valor se dará a en forma inmediata, siendo este la distancia que se desplazado del cero del nonio son respecto a la escala fija, figura 6.5a)

En el caso que la coincidencia no se efectuó es decir cuando el cero del nonio se encuentra ligeramente desplazado da alguna división de la escala fija, se toma como lectura inmediata el valor de la división anterior al cero del nonio y se le agrega el valor da la lectura auxiliar. Esta lectura auxiliar se determina, observando cual división del nonio coincide con cualquiera de la escala principal, conociendo el valor de cada división se podrá determinar esta lectura auxiliar y finalmente la lectura de la medición realizada.



Lectura 25.0 mm

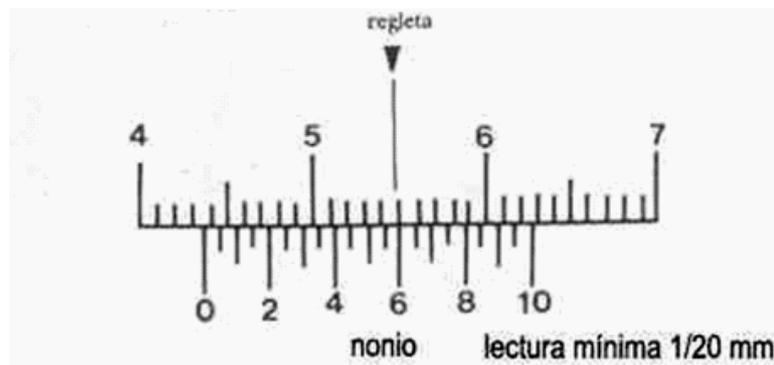
a)



b)

Figura 6.5. a) Lectura inmediata. b) Lectura no inmediata

### Ejemplo 1. Sistema métrico



Paso 1.

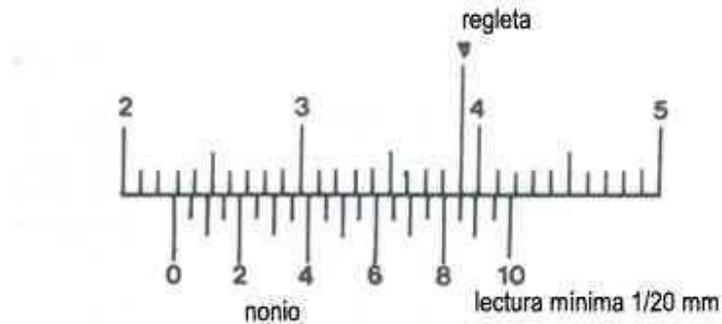
El punto cero de la escala del nonio está localizado entre 44 mm. y 45 mm. sobre la escala de la regleta. En este caso lea 44 mm

Paso 2.

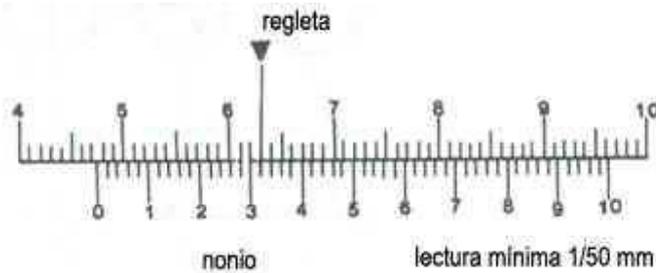
Sobre la escala del nonio, localice la graduación en la línea con la graduación de la escala de la regleta. Esta graduación es de "6" , esto es, 0.6 mm

Paso final:

$$44 + 0.6 = 44.6\text{mm}$$

**Ejemplo 2.**

Paso 1	22.
Paso 2	$\begin{array}{r} .85 \\ \hline 22.85 \text{ mm} \end{array}$

**Ejemplo 3.**

Paso 1.	46
Paso 2	0.32
	46.32 mm

Para determinar una lectura en una escala graduada en el sistema inglés, es necesario observar cómo está dividida cada pulgada de dicha escala. Es decir, cuando la pulgada se divide en 16 partes cada una de estas vale  $\frac{1}{16}$  de pulgada (figura 5.6), por lo que toca al nonio cada división vale  $\frac{1}{128}$  de pulgada como se muestra en la figura 6.6. El valor de  $\frac{1}{128}$  de pulgada en la legibilidad del instrumento.

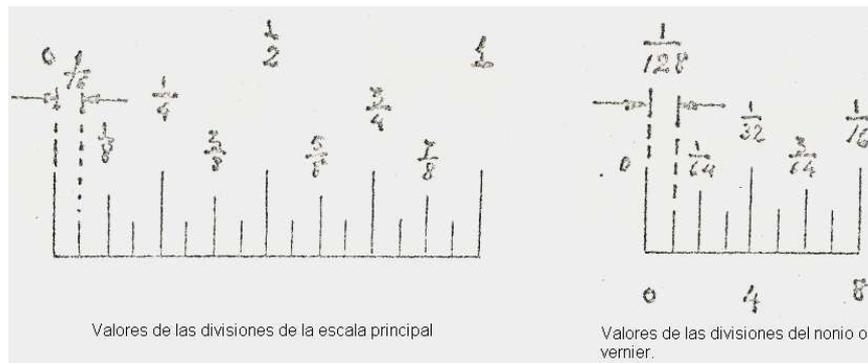


Figura 6.6. Vernier con divisiones de 1/16 de pulg.

Cuando la pulgada está dividida en 10 partes cada una (figura 5.7) y numeradas de 0 al 9, el valor de esta divisiones de  $\frac{1}{10}$  de pulgada o cien milésimas de pulgada, a su vez cada una de esta se divide en 4 partes, de tal modo que finalmente del valor mínimo de cada división es de 0.025 pulgadas. Seguido por lo que respecta a nonio, éste se encuentra dividido en 25 partes (numerados progresivamente de 5 en 5) cuyo valor de cada una es  $\frac{1}{1000}$  de pulgada que es precisamente la legibilidad de este instrumento para este caso.

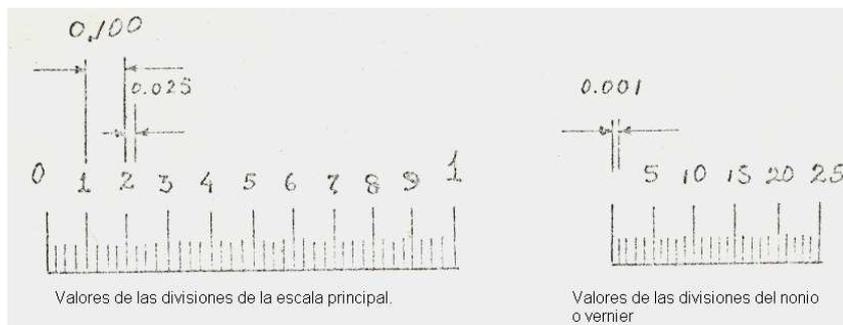
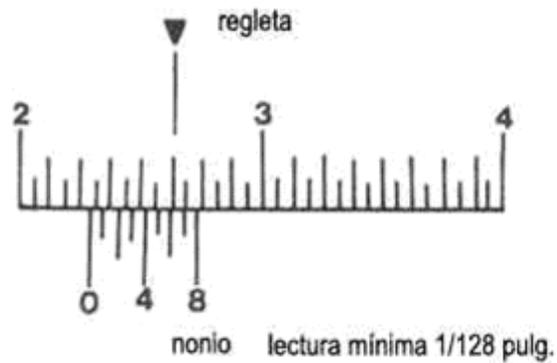


Figura 6.7. Vernier con divisiones de milésimas de pulg.

**Ejemplo 1. Sistema inglés**



Paso 1

El punto cero de la escala del nonio está localizado entre  $2 \frac{4}{16}$  pulg., y  $2 \frac{5}{16}$  pulg., sobre la escala de la regleta.

En este caso, lea  $2 \frac{4}{16}$  pulg., primero  $2 \frac{4}{16}$  pulg.

Paso 2.

Sobre la escala del nonio, localice la graduación la cual está en línea con una graduación sobre la escala de la regleta.

Esta graduación es "6", este 6 sobre el nonio indica  $6/128$  pulg.----->  $128/$  pulg.

Paso Final.

Paso I + paso 2

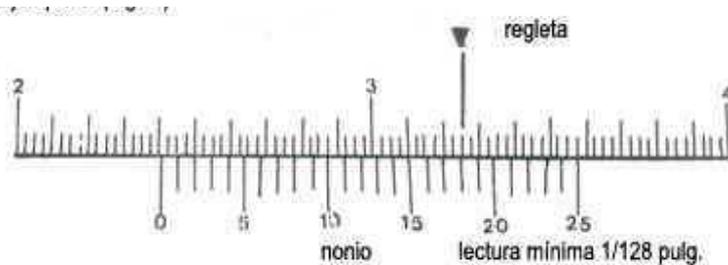
$$2 \frac{4}{16} + \frac{6}{128} = 2 \frac{4 \times 8}{16 \times 8} + \frac{6}{128} =$$

$$2 \frac{32}{128} + \frac{6}{128} = 2 \frac{38}{128} \left[ 2 \frac{19}{64} \right] =$$

$$2 \frac{19}{64}$$

La lectura correcta es  $2 \frac{19}{64}$  pulg.

**Ejemplo 2.**



Paso 1

Leemos 2.400 pulg., primero

Paso 2

La graduación 18 sobre la escala del nonio está en línea con una graduación de la escala de la regleta, esta lectura es 18 pulg./1000 ó 0.018 pulg.

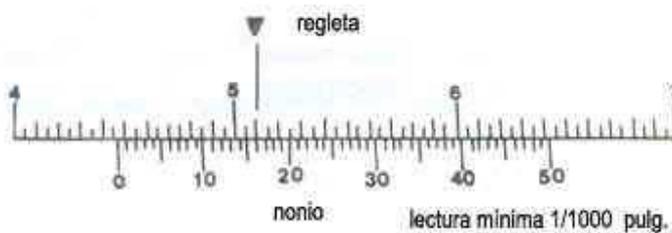
Paso 1 + Paso 2

$$= 2.400 + 0.018$$

$$= 2.418 \text{ pulg.}$$

La lectura correcta es 2.418 pulg.

### Ejemplo 3.



$$\text{Paso 1 + paso 2} = 4.450 + 0.016 = 4.466 \text{ pulg.}$$

La lectura correcta es 4.466 pulg.

El nonio tiene además una prolongación en la parte final de la escala principal (figura 6.7.) que se utiliza para medir profundidades, cuyo movimiento se realiza oprimiendo una muelle que lleva en el cursor, elemento 8 y se desliza para abrir o cerrar el instrumento según convenga. Algunos calibradores básicos cuentan con un tornillo que fija la posición del nonio.

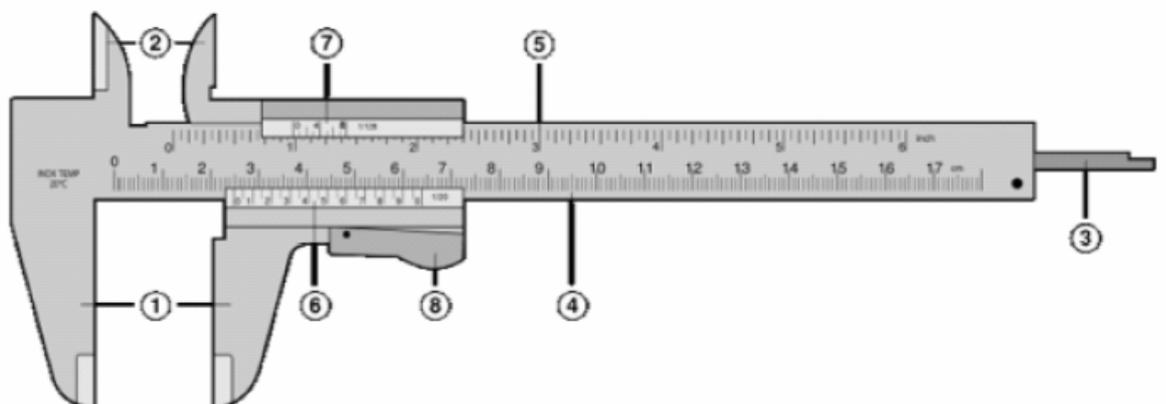


Figura 6.7. Medidor de profundidades (3) en un vernier.

### **6.5. CALIBRADOR CON INDICADOR DE CUADRANTE 0 CARÁTULA**

En este calibrador se ha sustituido la escala del vernier por un indicador de cuadrante o carátula operado por un mecanismo de piñón y cremallera logrando que la resolución sea aún mayor logrando hasta lecturas de 0.01 mm, figura 6.8.

Se disponen de calibradores desde 100 mm hasta 2000 mm y excepcionalmente aún más largos.



*Figura 6.8. Vernier de carátula.*

### **6.6. CALIBRADORES ELECTRODIGITALES**

Estos calibradores utilizan un sistema de deflexión de desplazamiento de tipo capacitancia, tienen el mismo tamaño, peso y rango de medición que los vernier estándar, son de fácil lectura y operación, los valores son leídos en una pantalla de cristal líquido (LCD), con cinco dígitos y cuentan con una resolución de 0.01 mm, que es fácil de leer y libre de errores de lectura.

Cuentan con una gran variedad de unidades de transmisión de datos que envían las mediciones a una computadora central para la administración y almacenamiento de centralizado de datos, su software disponible realiza cálculos estadísticos para la elaboración de diagramas y cartas de control X-R para control estadístico de proceso.



*Figura 6.9. Vernier electrodigital*

## 6.7. PRECAUCIONES AL MEDIR.

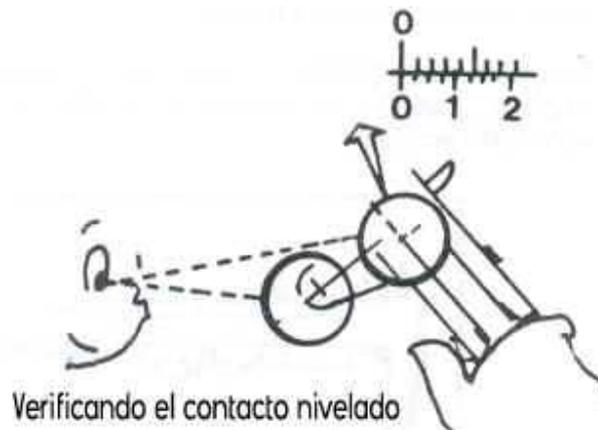
### **Punto 1: Verifique que el calibrador no esté dañado.**

Si el calibrador es manejado frecuentemente con rudeza, se inutilizará antes de completar su vida normal de servicio, para mantenerlo siempre útil no deje de tomar las precauciones siguientes:

- 1) Antes de efectuar las mediciones, limpie de polvo y suciedad las superficies de medición, cursor y regleta, particularmente remueva el polvo de las superficies deslizantes; ya que el polvo puede obstruir a menudo el deslizamiento del cursor.
- 2) Cerciórese que las superficies de medición de las quijadas y los picos estén libres de dobleces o despostilladuras.
- 3) Verifique que las superficies deslizantes de la regleta estén libres de daño.

Para obtener mediciones correctas, verifique la herramienta acomodándola como sigue:

- 1) Esté seguro de que cuando el cursor está completamente cerrado, el cero de la escala de la regleta y del nonio estén alineados uno con otro, también verifique las superficies de medición de las quijadas y los picos como sigue:
  - Cuando no pasa luz entre las superficies de contacto de las quijadas, el contacto es correcto.
  - El contacto de los picos es mejor cuando una banda uniforme de luz pasa a través de las superficies de medición.



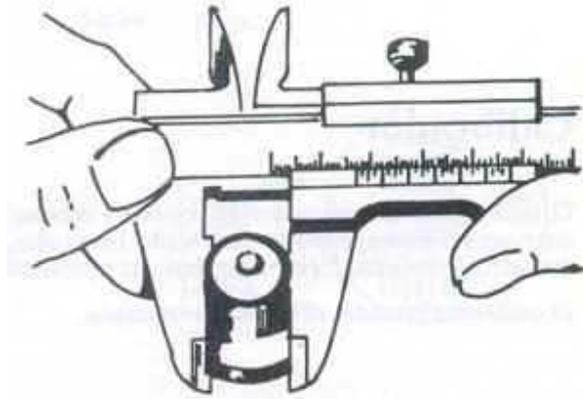
2) Coloque el calibrador hacia arriba sobre una superficie plana, con el medidor de profundidad hacia abajo, empuje el medidor de profundidad, si las graduaciones cero en la regleta y la escala del nonio están desalineados, el medidor de profundidad está anormal.



3) Verifique que el cursor se mueva suavemente pero no holgadamente a lo largo de la regleta.

**Punto 2: Ajuste el calibrador correctamente sobre el objeto que está midiendo**

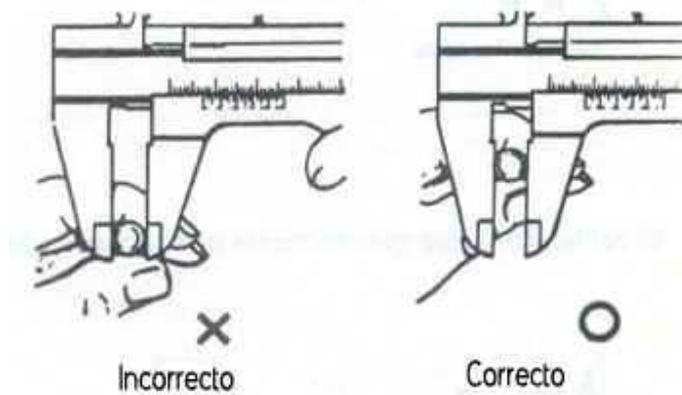
Coloque el objeto sobre el banco y mídalo, sostenga el calibrador en ambas manos, ponga el dedo pulgar sobre el botón y empuje las quijadas del nonio contra el objeto a medir, aplique sólo una fuerza suave.



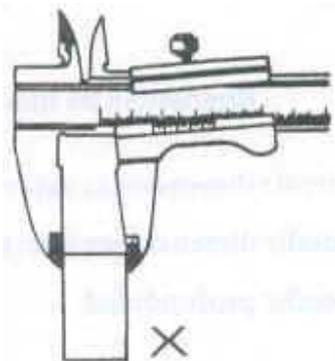
**Método correcto de manejar los calibradores**

### Medición de exteriores.

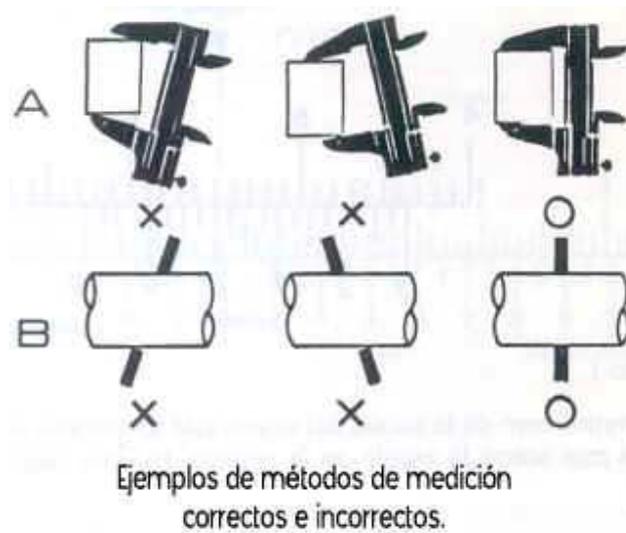
Coloque el objeto tan profundo como sea posible entre las quijadas.



Si la medición se hace al extremo de las quijadas, el cursor podría inclinarse resultando una medición inexacta.

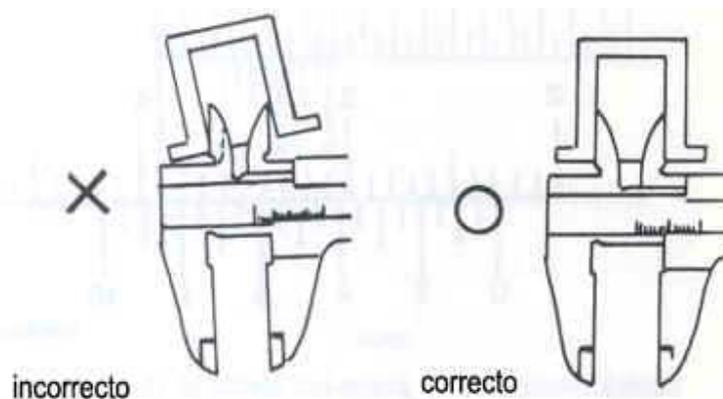


Sostenga el objeto a escuadra con las quijadas como se indica en (A) y (B), de otra forma, no se obtendrá una medición correcta.

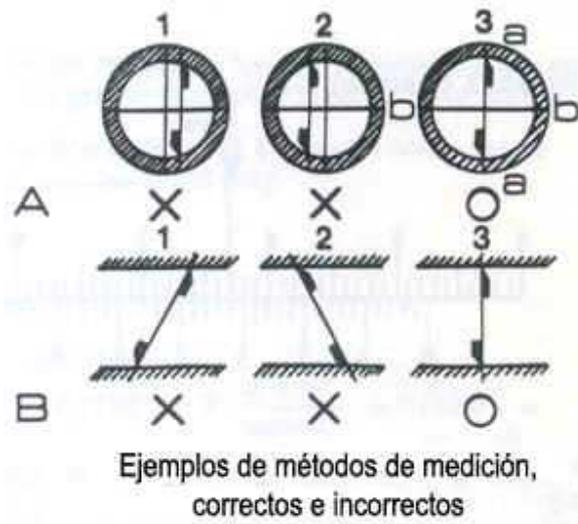


### Medición de interiores.

En esta medición es posible cometer errores a menos que se lleve a cabo muy cuidadosamente, introduzca los picos totalmente dentro del objeto que se va a medir, asegurando un contacto adecuado con las superficies de medición y tome la lectura.



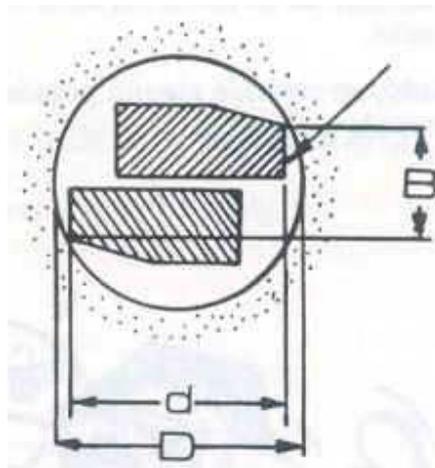
Al medir el diámetro interior de un objeto, tome el valor máximo (A-3) al medir el ancho de una ranura tome el valor mínimo (B-3).



Es una buena práctica medir en ambas direcciones a-a y b-b en A-3 para asegurar una correcta medición.

### Medición de agujeros pequeños.

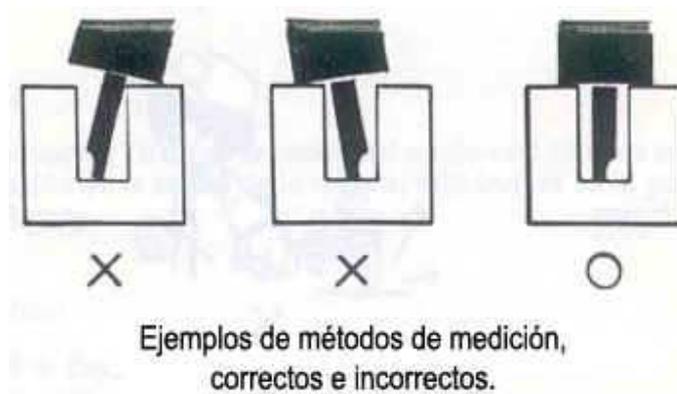
La medición de pequeños diámetros interiores es limitada, estamos expuestos a confundir el valor aparente "d" con el valor real "D"



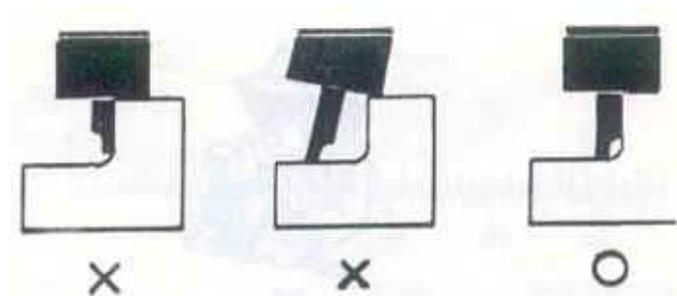
El mayor valor "B" en la figura o el menor valor "D" es el error.

### Medición de profundidad.

En la medición de la profundidad, no permita que el extremo del instrumento se incline, no deje de mantenerlo nivelado.



La esquina del objeto es más o menos redonda, por lo tanto, gire el resaque de la barra de profundidad hacia la esquina.



Punto 3: Guarde adecuadamente el calibrador después de usarlo.

Cuando se usa el calibrador, la superficie de la escala se toca a menudo con la mano, por lo tanto después de usarlo, limpie la herramienta frotándola con un trapo, y aplique aceite a las superficies deslizantes de medición antes de poner el instrumento en su estuche.

Tenga cuidado, no coloque ningún peso encima del calibrador, podría torcerse la regla.



No golpee los extremos de las quijadas y/o picos ni los utilice como martillo.



**No golpee los extremos de las quijadas**

No utilice el calibrador para medir algún objeto en movimiento.



**No mida un objeto mientras esté en movimiento.**

## CAPÍTULO 7

### EL MICRÓMETRO

#### 7.1. GENERALIDADES.

El micrómetro es un instrumento de medición directa que se utiliza cuando se requiere hacer lecturas del orden de centésimos de milímetro y hasta milésimas de milímetro en el sistema métrico decimal, en el sistema inglés lo más común es tener instrumentos que tienen una milésima de pulgada de legibilidad.

Al micrómetro también se le conoce con el nombre del tornillo micrométrico o palmer, éste último en honor de su inventor el francés Palmer en el año de 1848.

#### 7.2 DESCRIPCIÓN

El principio de funcionamiento de un micrómetro es muy simple y consiste en tener un tornillo montado sobre una tuerca (figura 7.1) que permanece fija y lo que se acciona es el tornillo, es decir que si se gira del tornillo o una vuelta en el sentido de la flecha lógicamente esta se aprobará desplazado longitudinalmente una cantidad equivalente al paso de la rosca del tornillo, si se dan dos vueltas al tornillo, éste habrá avanzado dos veces el paso de la rosca, ahora bien, si se da un cincuentavo de vuelta longitudinalmente el tornillo avanza un cincuentavo del paso de la rosca, si el tornillo se escoge de un paso de 0.5mm y a 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  $0.5/50=0.01\text{mm}$  (una centésima de milímetro).

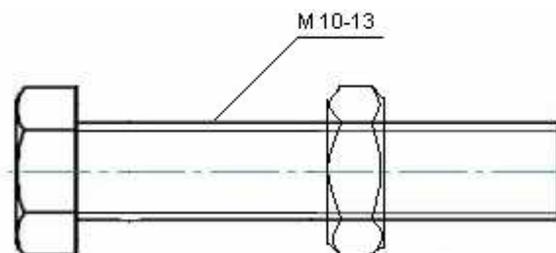
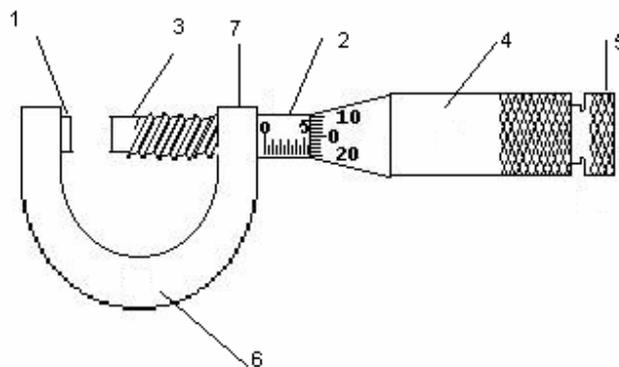


Fig. 6.1 Principios de funcionamiento del tornillo micrométrico.

*Figura 7.1. Principio de funcionamiento del tornillo micrométrico*

Un micrómetro tipo estándar está hecho de acero tratado y estabilizado ( figura 7.2) y consta fundamentalmente de las siguientes partes: un estribo (6) en forma de “C” diseñado así para

resistir las deformaciones por flexión, tienen un palpador fijo de superficies plana, lapeada y templada (1) que sirve de origen de cota y otro palpador móvil (3) llamado vástago también templado y lapeado que está construido por un tornillo de acero tratado y estabilizado, tiene la rosca rectificada con una tolerancia en el paso de  $\pm 1\mu\text{m}$  ( 0.001mm). El tornillo micrométrico tiene un tuerca con roscado cónico exterior y está hendida, lo que permite eliminar el huelgo gracias a otra tuerca provista para este efecto (no se observan en la figura debido a que en el interior). Tiene un tambor graduado (4) solidario al tornillo micrométrico que junto con la escala principal (2) nos da la medida. Una matraca de fricción (5) arrastra al tornillo de giro, lo que permite limitar la precisión de contacto de los palpadores de medición sobre la pieza con un valor constante del orden de 1 kg. Un anillo (7) permite bloquear el vástago (palpador móvil) por un freno circular, de manera que eviten cualquier desplazamiento axial del tornillo micrométrico y por lo tanto un error en la medida.



*Figura 7.2. Tornillo micrométrico*

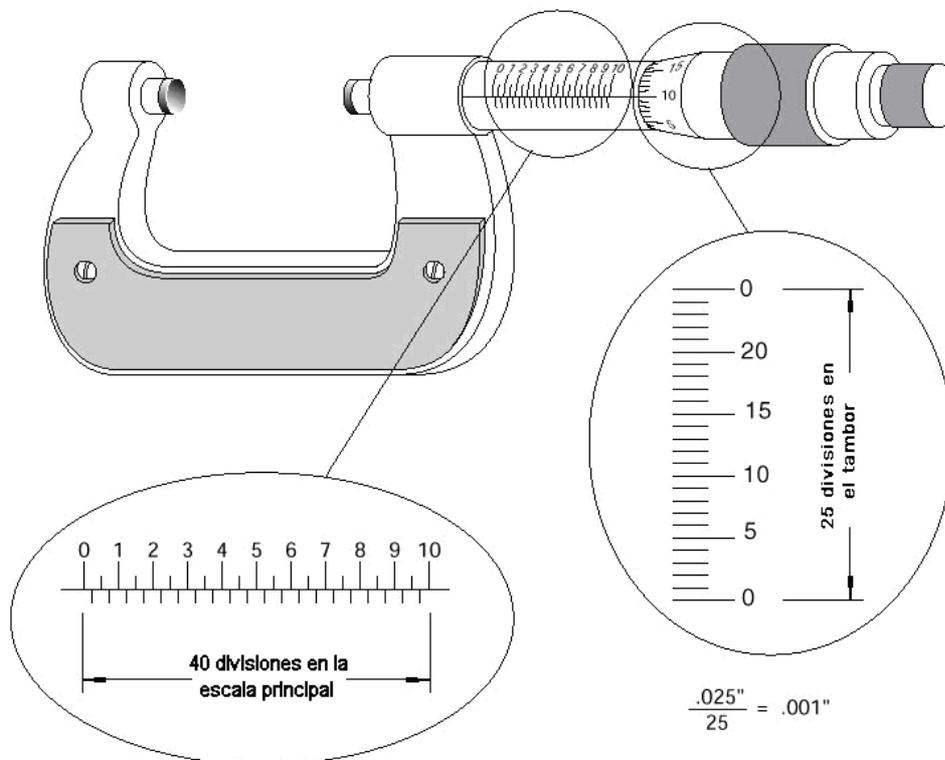
Los micrómetros no deben emplearse más que para la medición de cotas correspondientes a superficies trabajadas con una pasada de acabado, o rectificadas, es decir, que poseen como mínimo un grado de acabado correspondiente según norma al símbolo de dos triángulos (afine)

Para realizar la medición se pone el palpador fijo en contacto con la pieza a medir y se ajusta el tope móvil. En ningún caso es recomendable bloquear el micrómetro a una medida fija y utilizarlo como si fuera un calibre, ya que esto producirá un desgaste prematuro de los palpadores.

En los micrómetros graduados en el sistema inglés, lo más común es que tengan una legibilidad de una milésima de pulgada, (0.001 pulgada) la rosca de este tornillo tiene 40 hilos en una pulgada por lo que en cara vuelta completa avanza 1/40 de pulgada que equivale a 0.025 de pulgada. Por esta razón la escala principal que tiene una longitud de una pulgada se divide en 40

partes (figura 7.3) misma que corresponden al número de hilos de dicho tornillo. Por lo que toca al tambor, está dividido en 25 partes (figura 7.3) y cada uno de ellos corresponde a un milésima de pulgada (0.001 pulgada.) que es la legibilidad o lectura mínima de este instrumento.

Cuando en micrómetro está cerrado, es decir los dos palpadores (fijo y móvil) se encuentran tocándose sus superficies, la marca del cero del tambor coincide con el cero de la escala principal, ahora bien, si se gira una vuelta completa el tambor, el acero de este concierne con la primera marca de la escala principal y habrá una distancia entre palpadores de 0.025 pulgadas si se dan cuatro vueltas al tambor, habrá una separación entre palpadores de 0.100 pulgadas.



*Figura 7.3. Escala principal y tambor de un micrómetro en el sistema inglés.*

En conclusión para hacer lecturas con estos instrumentos la mecánica es la siguiente:

a) Observar el número de marcas que sean visibles en la escala principal (sabiendo que cada una de ellas equivale a 0.025 pulgada).

b) Si el cero del tambor no coincide con la marca de la escala principal es necesario observar cual marca del tambor coincide con la línea horizontal de la escala principal tomando en cuenta que cada una de estas equivale a 0.001 de pulgada.

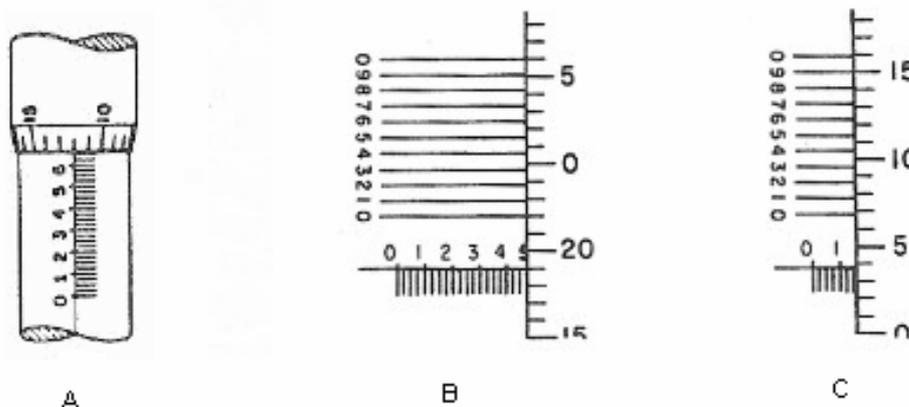
c) Finalmente, sumar las lecturas de los dos incisos anteriores cuando se cumpla lo picado en el inciso “B”, en el caso contrario la lectura será lo observado en la escala principal.

Existen también, micrómetros con elegibilidad de un diezmilésimo de pulgada (0.0001 pulgada) que se deberán usar con la mayor limpieza posible.

Estos micrómetros están dotados de una escala vernier o nonio en el husillo donde va graduada también la escala principal (figura 7.5.), esta escala vernier consta de 10 divisiones, numeradas en la siguiente forma 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 y que ocupa el mismo espacio de nueve divisiones del tambor de tal modo que la diferencia de las diez menciona del husillo y las nueve del tambor, equivale a un décimo de un espacio del tambor, por lo tanto cada división del vernier o nonio equivale a un diezmilésimo de pulgada.

Al hacer una medición anótese primero las lecturas de la escala principal y la del tambor para que finalmente se asuma las diezmilésimas de pulgada que aparezcan.

En la figura 7.4 se observa en la extrema izquierda (a) las escalas de husillo (escala principal y escala el vernier) y la del tambor, al centro (b) se observa que la división cero del tambor coincide con la décima división de la escala principal, teniendo automáticamente cero diezmilésimos y la lectura final será de 0.2500 pulgada. A la derecha (c) se observan que el cero del tambor no coincide con la línea horizontal de la escala principal sin embargo, la división diez del tambor coincide con la división siete de la escala del vernier, entonces la lectura final será de  $0.250+0.0007= 0.2507$  pulgada por la pulg.



*Figura 7.4. Micrómetro con legibilidad de 0.0001 pulg.*

Para la lectura de los micrómetros graduados en el sistema métrico se deben aplicar los mismos principios que para los que están graduados en el sistema inglés.

Para realizar una lectura, nos fijamos en la escala longitudinal, sabiendo así la medida con una apreciación de 0,5 mm, el exceso sobre esta medida se ve en la escala del tambor con una precisión de 0,01 mm.

En la figura 7.5a) se ve un micrómetro que en la parte inferior de la escala longitudinal tiene grabada la división de 5 mm, y en la parte superior se aprecia la división del medio milímetro. En la escala del tambor la división 28 coincide con la línea central de la escala longitudinal, por lo tanto la medida realizada por el micrómetro es:

$$5 + 0,5 + 0,28 = 5,78 \text{ mm}$$



a)



b)

**Figura 7.6. Lectura del tornillo micrométrico en el sistema métrico. a) Micrómetro centesimal b) Micrómetro milésimal**

Una variante de micrómetro un poco más sofisticado, además de tener las dos escalas de la primera fotografía, presenta un nonio, así, figura 7.5b) , pueden verse en detalle las escalas de este modelo; la escala longitudinal presenta las divisiones de los milímetros y de los medios mm en el lado inferior de la línea del cilindro, la escala del tambor tiene 50 divisiones, y sobre la línea del cilindro presenta una escala nonio de 10 divisiones numerada cada dos.

En la imagen, la tercera división del nonio coincide con una división de la escala del tambor, lo que indica que la medida excede en 3/10 de las unidades del tambor.

En este micrómetro se aprecia: en la escala longitudinal la división de 5 mm, la subdivisión de medio milímetro, en el tambor la línea longitudinal del cilindro excede la división 28, y en el

nonio su tercera división esta alineada con una división del tambor, por lo tanto la medida es:  $5 + 0,50 + 0,28 + 0,003 = 5,783$  mm.

El micrómetro es un dispositivo ampliamente usado en ingeniería mecánica, para medir con precisión el espesor de bloques, medidas internas y externas de ejes, y profundidades de ranuras.

Los micrómetros tienen varias ventajas respecto a otros instrumentos de medida como el vernier y el calibre: son fáciles de usar y sus lecturas son consistentes .

En los procesos de fabricación utilizados en la mecánica de precisión, especialmente en el campo de rectificadores se utilizan varios tipos de micrómetros de acuerdo a las características que tenga la pieza que se está mecanizando.

### **7.3. TIPOS DE MICRÓMETROS**

Los micrómetros se construyen en formas diversas que se adaptan a las distintas exigencias de los diferentes trabajos, permaneciendo en todos ellos, los mismos principios que se vieron anteriormente así como la misma mecánica para hacer las lecturas.

De ese modo el micrómetro se puede clasificar de la siguiente manera:

- Micrómetro de exteriores: son instrumentos de medida capaces de medir el exterior de piezas en centésimas. Poseen contactos de carburo rectificadas y lapeados. Ejercen sobre la pieza a medir una presión media entre 5 y 10 N, poseen un freno para no dañar la pieza y el medidor si apretamos demasiado al medir.
- Micrómetro digital: son exactamente iguales a los anteriores, pero tienen la particularidad de realizar mediciones de hasta 1 milésima de precisión y son digitales, a diferencia de los anteriores que son analógicos.
- Micrómetro exterior con contacto de platillos: de igual aspecto que los anteriores, pero posee unos platillos en sus contactos para mejor agarre y para la medición de dientes de coronas u hojas de sierra circulares.
- Micrómetro de exteriores de arco profundo: tiene la particularidad de que tiene su arco de mayor longitud que los anteriores, para poder realizar mediciones en placas o sitios de difícil acceso.
- Micrómetro de profundidades: se parece mucho al calibre de profundidades, pero tiene la capacidad de realizar mediciones en centésimas de milímetro.

- Micrómetro de interiores: mide interiores basándose en tres puntos de apoyo. En el estuche se contienen galgas para comprobar la exactitud de las mediciones.



a)

b)



c)



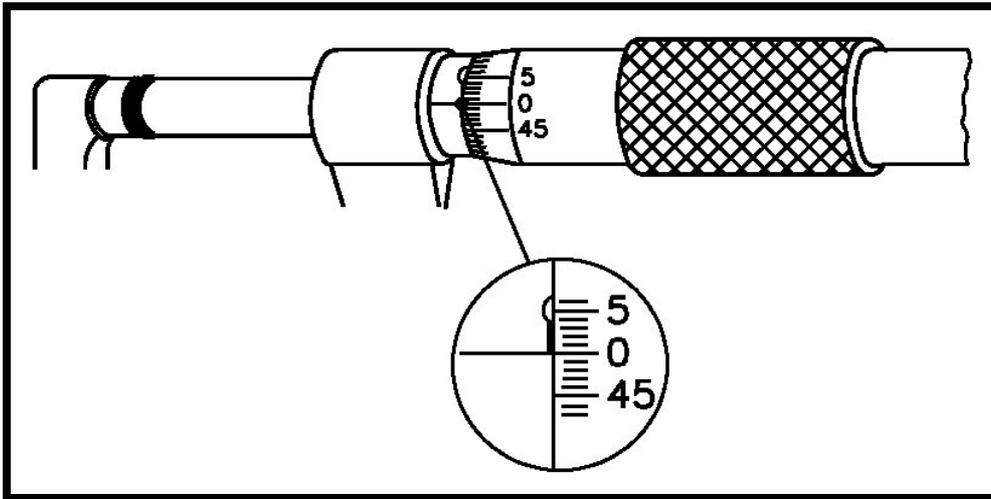
d)

***Figura 7.7. a) Micrómetro de profundidad******b) Micrómetro para interiores******c) Micrómetro para exteriores digital******d) Micrómetro de barrido LASER***

#### 7.4. CAUSAS DE ERROR DE LOS MICRÓMETROS.

Las principales causas de error de un micrómetro son:

- a) Error de origen o de cero, esto es cuando el micrómetro estando cerrado no indica cero la lectura.



- b) Los errores del paso del tornillo micrométrico y los errores de división del tambor que hace que el desplazamiento de p lpador móvil no corresponda al valor leído.
- c) Falta de paralelismo de las superficies de contacto de los palpadores, cuyo plana, además de debe ser perpendicular al eje de medición.
- d) Falta de planitud de las superficies de contacto de los palpadores.

#### 7.4.1. Verificación de los micrómetros.

Las causas de error que se acaban de citar hace que todo micrómetro deba ser verificado periódicamente, principalmente la causa, de error enunciada en el inciso (a). En los micrómetros que tienen una capacidad de 0 a 25mm o de 0 a 1 pulg. Para verificarlos basta cerrarlos y observar que la lectura indica que cero. Si la capacidad excede de los valores antes mencionados y tomando en cuenta los micrómetros por grandes que sean sólo tienen una longitud de la rosca de 1.000 pulg. o 25mm. Los palpadores cerraran sobre un disco de referencia o un patrón de extremos esféricos de la medida correspondiente a la capacidad mínimo del instrumento.

El presente procedimiento de calibración, es de aplicación a los micrómetros de exteriores, de divisiones de escala centesimales y millesimales, de contactos con campo de medida de 25 mm. y de alcances crecientes hasta 500 mm.

También es aplicable a micrómetros de exteriores con otros campos de medida y alcances, así como a micrómetros especiales, en ausencia de procedimientos específicos para estos instrumentos

y con las pertinentes modificaciones.

### **Prerrequisitos y precauciones**

Los equipos patrones a utilizar deberán encontrarse dentro del periodo de validez de calibración.

Los equipos a calibrar deberán estar en perfecto estado de limpieza. Siendo necesario utilizar para su limpieza algún disolvente no tóxico y que no ataque las partes de plástico del equipo, tal como el alcohol isopropílico, siendo aplicado con algún trapo, pincel, etc.

Dejar un tiempo de estabilización antes de iniciar la calibración que se realizará en una sala de metrología a una temperatura de  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ .

### **Equipos patrones y accesorios**

Bloques patrón de grado f para los de escala 0.001 ó 0.002 mm y bloques patrón grado 1 ó superior para los de división de escala superior a 0.002 mm.

Como accesorio de este procedimiento y para cada equipo, se utilizará la Ficha de Instrucciones de Calibración del mismo.

### **Descripción del método**

Se iniciará con una inspección visual, después de su limpieza, a fin de comprobar el buen estado de las caras de medida, partes móviles, grabado de escalas, etc. Se pondrá especial atención en el estado de las caras de medida, las cuales, podrán comprobarse con un patrón de planitud de vidrio. Se procederá después, para comenzar la calibración, al ajuste de escala del micrómetro y a su colocación en el soporte adecuado.

Se efectúa midiendo los bloques patrón con el micrómetro y anotando sus indicaciones.

Si se componen varios bloques para formar un determinado nominal, la incertidumbre del patrón resultante, se obtiene por suma cuadrática de las incertidumbres de los patrones elementales.

La calibración se inicia reiterando 10 medidas sobre un patrón, cuyo nominal se establece en aproximadamente el punto medio del campo de medida del micrómetro. De acuerdo con la repetibilidad de estas medidas, se prevén dos tipos de calibraciones:

- Tipo A: 8 ó más de las indicaciones, son coincidentes.
- Tipo B: El número de indicaciones coincidentes es menor a 8.

A continuación se seleccionan otros "q" puntos de calibración, de forma que el campo de medida resulte dividido por los "q+1" puntos de calibración en "q" intervalos aproximadamente iguales.

En la calibración tipo A, q es 10 y solo se realiza una medida en cada uno de los 10 puntos de calibración; en la tipo B, q es 4 y se reiteran 10 medidas en cada uno de los 4 nuevos puntos de calibración.

Es conveniente componer los patrones, para que la cifra de sus nominales correspondiente al nivel de división de escala del instrumento, no sea siempre igual.

Las indicaciones del micrómetro, se expresarán siempre con su última cifra, en el nivel de la división de escala del micrómetro.

**Datos y cálculos. Tratamiento de los resultados**

**Tipo A (sin ajuste intermedio)**

Se determinan las correcciones de calibración ( $\Delta \bar{X}_{ci}$ ) en cada uno de los 11 puntos de calibración mediante:

$$\Delta X_{ci} = X_{oi} - X_{ci}$$

donde  $X_{ci}$  es la indicación del micrómetro al medir el patrón i-ésimo de valor  $X_{oi}$  e incertidumbre  $I_{oi}$ .

Se evalúa la incertidumbre ( $k = 2$ ) en cada punto de calibración mediante:

$$I_i = K \sqrt{\left(\frac{I_{oi}}{k_o}\right)^2 + \Delta X_{ci}^2}$$

A partir de ahí se da como incertidumbre propia del micrómetro (incertidumbre de medida) con  $k = 2$  la correspondiente al máximo de las expresiones anteriores. Es decir:

$$I = \max \{ I_i \}$$

que se redondea por exceso al múltiplo inmediato de la división de escala del equipo.

**Tipo B (sin ajuste intermedio)**

Se determinan las correcciones medias de calibración,  $\Delta \bar{X}_{ci}$ , en cada uno de los puntos de calibración, mediante:

$$\Delta X_{\bar{a}} = X_{\bar{a}} - X_{\bar{a}}$$

D onde  $X_{\bar{a}}$  es la media aritmética de las indicaciones de reiterar  $n_c$  medidas sobre el patrón  $i$ -ésimo, es decir;

$$\bar{X}_{\bar{a}} = \frac{1}{n_c} \sum_{j=1}^{n_c} X_{\bar{a}j}$$

Se estima la varianza de repetibilidad en cada punto de calibración

$$S_{\bar{a}}^2 = \frac{1}{n_c - 1} \sum_{j=1}^{n_c} (X_{\bar{a}j} - \bar{X}_{\bar{a}})^2$$

La incertidumbre en cada punto de calibración, (con  $k=2$ ) para  $n$  medidas viene dada por:

$$I_i (n \leq 3) = 2 \sqrt{\left(\frac{I_{\bar{a}}}{2}\right)^2 + S_{\bar{a}}^2 \left(\frac{1}{n_c} + \frac{1}{n}\right) + \Delta \bar{X}_{\bar{a}}^2}$$

La incertidumbre global del micrómetro es el máximo de las expresiones anteriores. Es decir:

$$I = \max \{ I_i \}$$

que se redondea al múltiplo más próximo al de la división de escala (E) del micrómetro.

### **Criterios de aceptación**

Se establecen dos tipos de calidad para los instrumentos aquí considerados, según su incertidumbre. Se obtienen los dos grados de precisión: Grado I o grado II, para unos valores máximos de la incertidumbre obtenida según la tabla 7.1.

*Tabla 7.1. Valores máximos admisibles en mm, de la incertidumbre total de la calibración.*

CAMPO DE MEDIDA en mm	ERROR TOTAL ADMITIDO I en $\mu\text{m}$	
	GRADO DE PRECISION I	GRADO DE PRECISION II
0 - 25	4	10
25 - 50		11
50 - 75	5	11
75 - 100		12
100 - 125	6	13
125 - 150		13
150 - 175		14
175 - 200		14
200 - 225	7	15
225 - 250		15
250 - 275		16
275 - 300		16
300 - 325	8	17
325 - 350		17
350 - 375		18
375 - 400		18
400 - 425	9	19
425 - 450		19
450 - 475		20
475 - 500		20

Si un micrómetro calibrado está dentro de uno de los dos grados de precisión anteriores deberá hacerse constar así en el certificado de calibración junto con la referencia al presente documento. Si no, se comprobará si es válido para las tolerancias de uso. En caso contrario, se emitirá el correspondiente informe de equipo fuera de especificaciones o con limitación de uso, si el defecto es solo en una parte de la escala.

## ***CAPÍTULO 8***

### ***OTROS INSTRUMENTOS***

#### **8.1. GRAMIL O CALIBRE DE ALTITUD.**

Los medidores de altura se utilizan principalmente para marcar distancias verticales, trazar y medir diferencias en alturas entre planos a diferentes niveles, este dispositivo cuenta con un solo trazador o palpador, la superficie sobre la cual se apoya normalmente es una mesa de granito o una superficie metálica, la cual actúa como plano de referencia para realizar las mediciones

#### **Principio de funcionamiento**

La forma de graduación dependiendo del sistema métrico o inglés es exactamente igual a los calibradores Vernier, de igual manera, la forma de interpretar los valores de una magnitud en sus escalas depende del desplazamiento del cursor sobre la escala principal. A diferencia de los calibradores, los medidores de altura tienen un solo palpador y la superficie (mesa de trazado o base de granito) en la cual descansa la base del instrumento actúa como plano de referencia. En un calibrador vernier sería el palpador fijo.

#### **Aplicaciones y características de los medidores de altura**

Se utilizan principalmente para medir distancias verticales, trazar y medir diferencias de alturas entre planos a diferentes niveles, las aplicaciones se realizan colocando al medidor de alturas un trazador o un indicador de cuadrante con palpador orientable.

Los trazadores se utilizan principalmente para marcar, pero también es posible medir distancias entre planos a diferentes niveles apoyando la pieza a medir sobre la superficie de granito. En el caso de los indicadores de cuadrante con palpador orientable adoptados al medidor de alturas tienen por objeto realizar mediciones comparativas, transportar medidas y medir diferencias de alturas entre planos.

#### **Características**

Existen diferentes tipos de medidores de altura con diferentes características en base al diseño y a las normas con los que se fabrican:

1) La construcción de los medidores de altura es robusta como consecuencia de que la superficie de granito no está integrado al instrumento, se requiere mantener estabilidad en la perpendicularidad de la escala principal con el plano de referencia.

2) La mayoría de los medidores de altura la escala principal es ajustable, esto facilita la compensación del desgaste del trazador y el ajuste a cero en cualquier punto de referencia.

3) La base y la superficie de medición son templados rectificadas y micro pulidas.

4) En general se puede decir que el acabado de las escalas es de cromo satinado lo cual evita la reflexión de la luz que lastime la vista. El procedimiento para leer las escalas de los medidores de altura es igual al de los calibradores vernier, tanto en la escala métrica como en la escala inglesa.

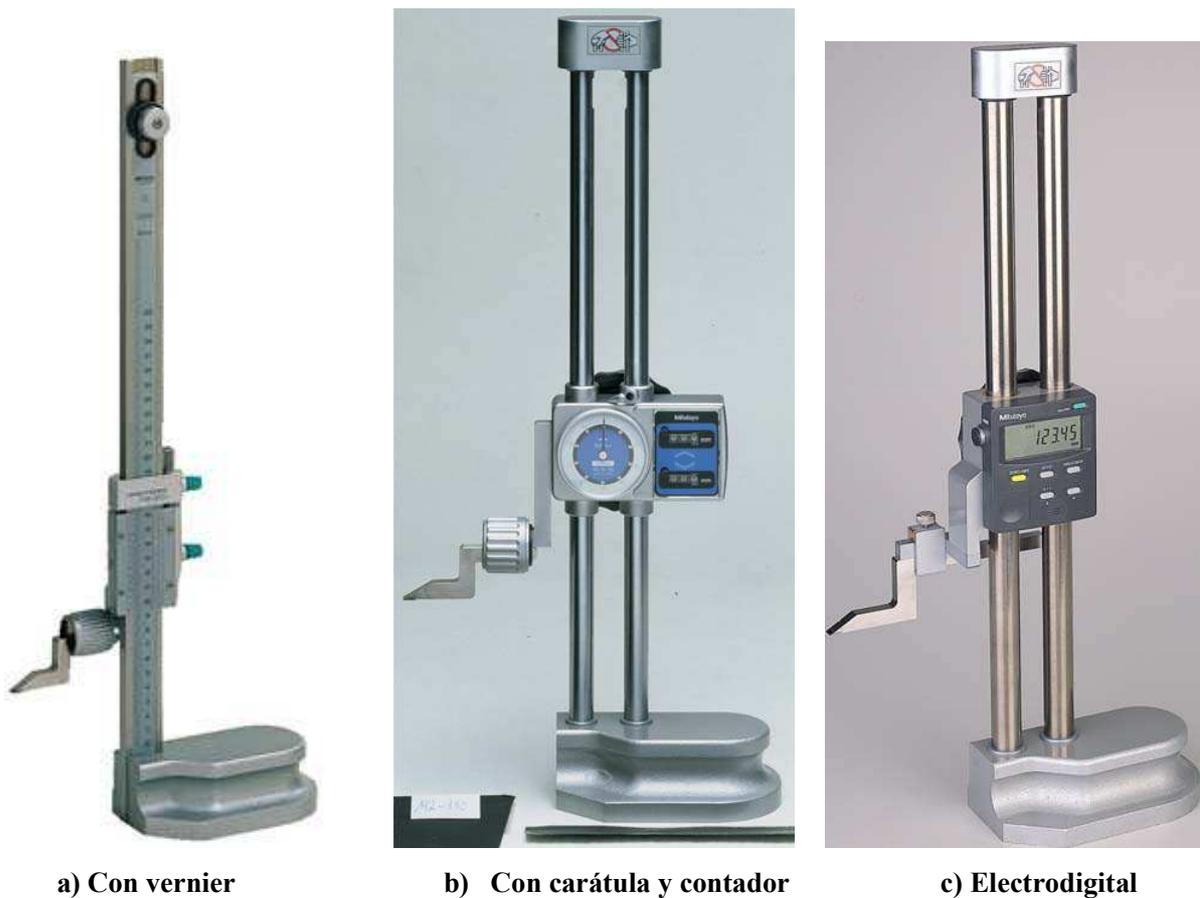
### **Clasificación de los diferentes tipos de medidores de altura**

Existen diversos tipos de medidores de altura, pero solo difieren por sus características de construcción que facilitan o hacen más confiable su utilización, pero sus aplicaciones son las mismas y los más importantes son los siguientes:

- Con vernier
- Con carátula
- Con carátula y contador
- Electrodigital

### **Medidor de altura con carátula**

La principal desventaja del medidor de altura con vernier es que la lectura requiere de mucho tiempo y que se inducen errores de paralaje por no leer la escala directamente de frente, el medidor de altura de carátula resuelve este problema.



a) Con vernier

b) Con carátula y contador

c) Electrodigital

*Figura 8.1. Diferentes tipos de medidores de altura***Medidores de altura electrodigitales**

Existen dos tipos de medidores de altura electro digital, uno de ellos utiliza un codificador rotatorio para detectar el desplazamiento y tiene doble columna, el otro utiliza el detector de desplazamiento tipo capacitancia y cuenta con una sola columna de sección rectangular.

Las características de los medidores de altura electro digitales son:

- 1) Los valores medidos se muestran en una pantalla de cristal líquido de modo que pueden obtenerse lecturas rápidas y libres de error.
- 2) Pueden medir y trazar con una legibilidad de 0.001 mm.
- 3) La auto calibración a cero permite fijar el punto a medir donde se desee, lo cual elimina la necesidad de calcular diferencias de altura.
- 4) Funciona con baterías para operarlo libremente.
- 5) Cuenta con la función de mantener datos facilitando ciertas operaciones de medición cuando las mediciones no son fáciles de leer por las posiciones en que se efectúan.

## **8.2. CALIBRES DE HERRADURA**

Calibres de herradura. Los calibres de herradura, sencillos o dobles, en una o en dos piezas, llamados vulgarmente horquillas, tienen la ventaja de ser ligeros, incluso para grandes diámetros, y evitan el desmontaje, para la verificación, de una pieza montada entre puntos; en cambio, su apoyo sobre el cilindro a verificar es muy débil, y su desgaste es más rápido que el de los calibres de anillo. Estos calibres corresponden a dos valores que son, respectivamente, la dimensión máxima y la mínima. La pieza es “buena” cuando la parte destinada a comprobar la cota máxima puede pasar resbalando sobre la pieza y, esta pieza es “desperdicio” (o sea, no utilizable) cuando la parte del calibre destinada a la cota mínima pasa sobre al pieza. Se designan ambos lados del calibre como lado de “pasa” o “lado bueno” y lado de “no pasa” o “lado malo”

Designación de los calibres de herradura.

La medida de ajuste grabada sobre el calibre tiene que coincidir con la figura en el plano (por ejemplo 35h7). Las diferencias vienen indicadas en los calibres. El lado malo o “no pasa” se caracteriza por ir pintado en rojo y por llevar achaflanadas las garras de medida. Para diámetros de hasta 100 mm se emplean calibres de doble herradura, figura 8.2. Las medidas mayores se comprueban con dos calibres, figura 8.3.



**Figura 8.2. Calibre de doble herradura**



*Figura 8.3. Calibre de una sola herradura para árboles con diámetros entre 100 y 400 mm*

### 8.3. ALESÁMETRO

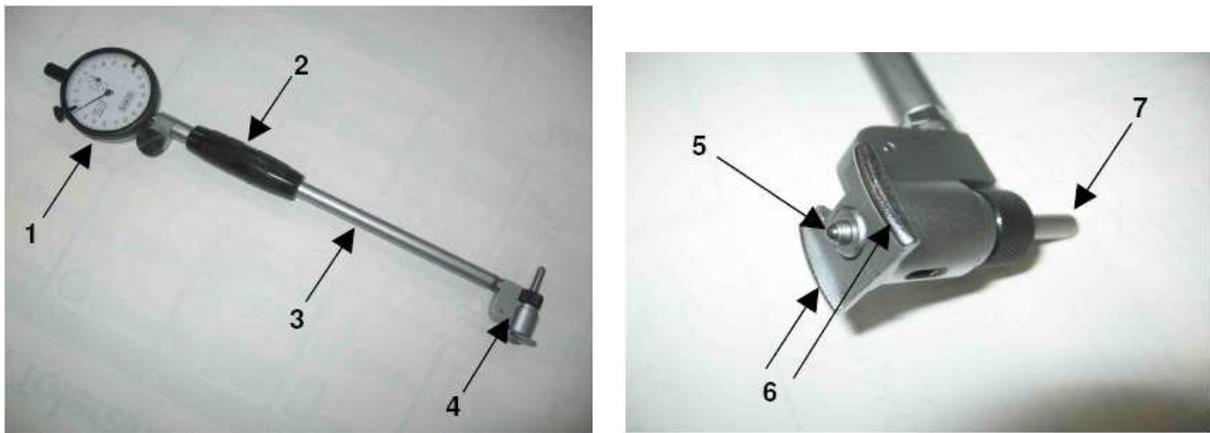
Es un instrumento de medición del tipo indirecto para diámetros interiores; o sea que requiere de otro elemento de dimensión conocida para referenciarlo a 0 (cero) tales como: anillos patrones, micrómetros, paquete de bloques calibrados, etc.

Componentes

1. Indicador de cuadrante (comparador)
2. Agarradera
3. Cuerpo
4. Cabezal de medición autocentrante
5. Punta de contacto
6. Guías de autocentrado
7. Puntas intercambiables

En el cabezal de medición, la punta de contacto al desplazarse, transforma ese movimiento axial longitudinal de la barra que está dentro del cuerpo (mediante una leva pivotante) y ésta acciona el comparador.

El comparador puede estar graduado en centésimas (0,01 mm) ó en milésimas de milímetro (0,001 mm).



*Figura 8.4. Componentes de un alesámetro*

### **Modo de uso**

Cada alesámetro es provisto con un juego de puntas intercambiables de distintas longitudes con lo que puede abarcarse un rango de medición mucho mayor que el que tiene el comparador . Debe seleccionarse la punta de acuerdo a la dimensión a medir.

Cuando se deban realizar mediciones frecuentes de un mismo diámetro, por Ej. cilindros en un block, se recomienda utilizar un anillo patrón para fijar el cero. El procedimiento para ajustar el instrumento, es el mismo que se usa para medir: debe tomarse la lectura menor que acuse el comparador cuando el alesámetro es balanceado en forma transversal dentro del cilindro. El cabezal autoncentrante asegura que se está midiendo en forma diametral.

Cuando no se dispone de un anillo patrón, la puesta a cero puede realizarse con la ayuda de un micrómetro para exteriores al que se le ha fijado previamente, el nominal de la dimensión a medir. Debe tomarse la lectura menor encontrada balanceando el alesámetro en cualquier dirección. Esta operación requiere cierta habilidad, ya que en este caso, no pueden usarse las guías para centrado automático. También puede usarse un paquete de galgas fijado en un soporte especial.

Existen también alesámetros en los que es posible adicionar una barra de extensión para el caso de agujeros más profundos.

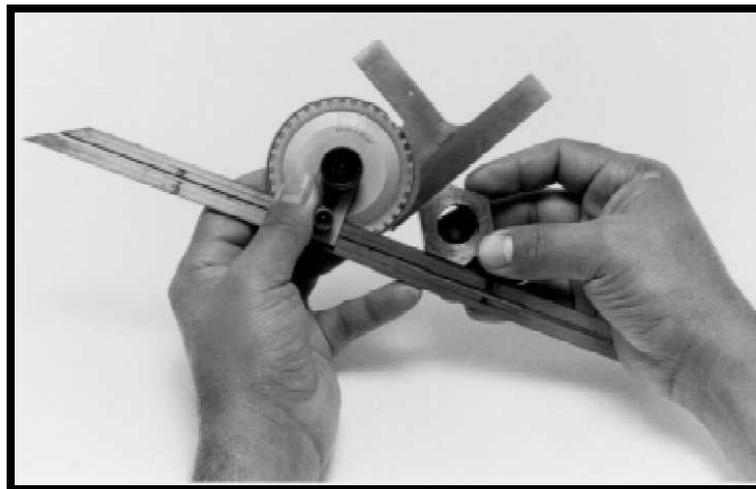


*Figura 8.5. Juego de alesámetros 18-150 mm – apreciación 0,01 mm*

#### 8.4. GONIÓMETRO

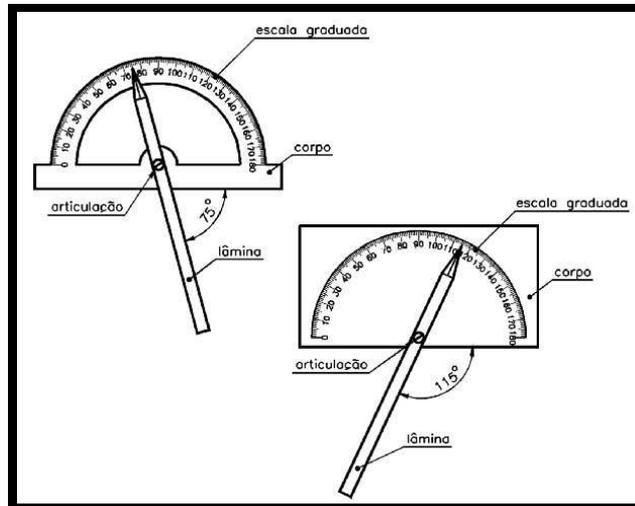
El goniómetro es un instrumento que a diferencia del pie de metro y el micrómetro sirve para controlar medidas angulares.

Los Goniómetros simples también conocidos como transportadores de grados son utilizados en las medidas angulares que no necesitan de extremo rigor de control, su menor desviación es de 1° (un grado), figura 8.6.



*Figura 8.6. El goniómetro.*

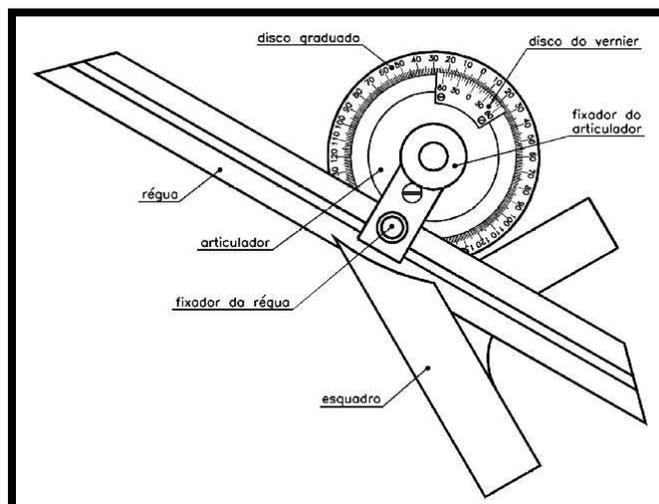
Existen diferentes tipos de goniómetros, en la figura 8.7 se muestran los más comunes, con ellos se pueden obtener las medidas de un Angulo agudo y de un Angulo obtuso.



*Figura 8.7. Midiendo una Angulo obtuso y un ángulo agudo con un goniómetro.*

#### **Tipos de goniómetro:**

En la figura 8.8. se muestra un Goniómetro de precisión, el disco graduado posee cuatro escalas que van de 0°-90° a estas escalas se les conoce como cuadrante. El brazo articulado gira con un disco que posee un nonio y presenta un ajuste para desplazar el brazo.

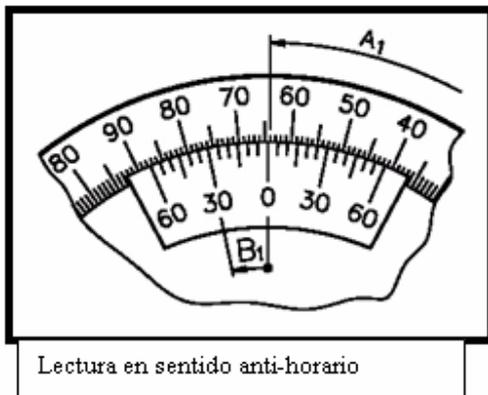


*Figura 8.8. Goniómetro de precisión.*

**Lectura del goniómetro:**

Los grados son leídos en la escala fija utilizando el cero del nonio como referencia de las unidades, esta escala permite la lectura tanto en sentido horario como anti-horario

La lectura de los minutos se ejecuta en el nonio el cual se encuentra en el disco que gira dentro de la escala fija, esta se realiza bajo el mismo método que otros instrumentos con nonio, se debe encontrar la línea del nonio que coincida con una de la escala fija.

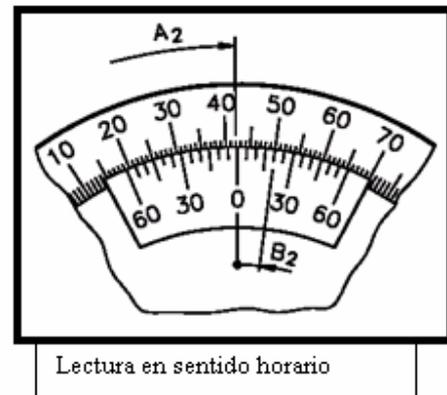


$$A1 = 64^{\circ}$$

$$B1 = 30'$$

$$A2 = 42^{\circ}$$

$$B2 = 15'$$

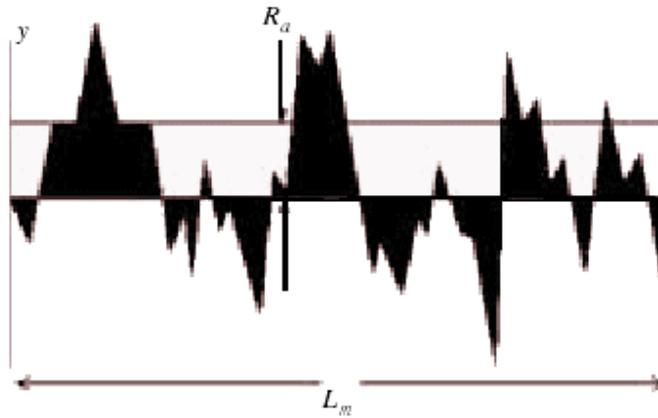
**8.5. RUGOSÍMETRO**

Las superficies de los materiales, por muy pulidas que estén, presentan siempre cierto grado de irregularidad que debe ser valorado puesto que influye en numerosos procesos, como la capacidad de adhesión de las pinturas o la de adsorción de la suciedad del ambiente, por ejemplo.

El 'rugosímetro' es un dispositivo dotado de un palpador de diamante que, desplazando una cierta longitud sobre el material, es capaz de ampliar el paisaje de crestas y valles que presenta su superficie real y que no puede ser observada por el ojo humano.

El rugosímetro es un instrumento de medición electrónico, el cual proporciona los parámetros del acabado superficial de piezas mecánicas. Así mismo, también proporciona una gráfica que representa la curva de acabado superficial de la pieza en análisis. Un buen acabado superficial redundará en un mejor funcionamiento de la pieza mecánica, como sucede en piezas sometidas a fricción. El uso de este instrumento de medición es necesario debido a la desventaja de la comparación visual o táctil de las personas, ya que esta medición es subjetiva y difícilmente dos

personas estarán de acuerdo en que superficies son aceptables y cuales no. Los parámetros de acabado superficial más utilizados a nivel mundial son:  $R_a$ , que es la media aritmética de los valores absolutos de los alejamientos del perfil desde la línea central en la longitud de evaluación, figura 8.9.  $R_z$ , que es el promedio de las alturas de pico a valle evaluadas dentro de la longitud de evaluación.  $R_y$ , que es la máxima altura del perfil.



$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |y| dx$$

**Figura 8.9. . Rugosidad promedio ( $R_a$ ) en función de la altura de un rectángulo con un largo  $L_m$  (Östman, 1983). Average roughness ( $R_a$ ) in function of the height of a rectangle with length  $L_m$  (Östman, 1983).**

En la figura 8.10 se presentan algunos tipos de rugosímetro.



*Figura 8.10. Algunos tipos de rugosímetro.*

### 8.6. COMPARADOR ÓPTICO (PROYECTOR DE PERFILES)

En el proceso de medición de una pieza intervienen distintos medios para controlar la conformidad de la pieza con las especificaciones del plano. A menudo, las piezas presentan zonas estrechas de difícil acceso donde es necesario implicar medios expertos para poder dar respuesta a las especificaciones del plano.

Con la ayuda de un proyector de perfiles es posible realizar las mediciones en 2D sobre la sombra ampliada de la zona del detalle de interés, con un factor de ampliación conocido, figura 8.11.

Las dimensiones a medir suelen ser radios muy pequeños, zonas con acabado en forma de chaflán o cotas que refieren a zonas muy estrechas, donde el acceso con la punta de rubí del palpador de una máquina tridimensional u otro medio metrológico es imposible.

Es posible la medición directa, utilizando la lectura de los reglas de desplazamiento de los ejes o también la medición asistida por un software específico, capaz de definir primitivas geométricas y encontrar la relación geométrica de interés.



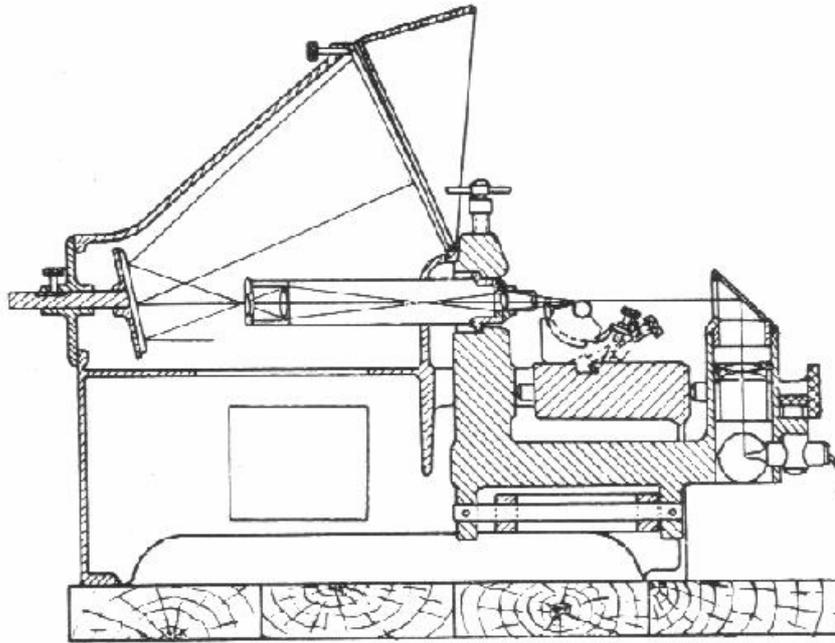
*Figura 8.11. Algunas aplicaciones del comparador óptico.*

### **Comparador Óptico Hartness**

Se compone de un armazón de fundición y de diversos soportes destinados a recibir una fuente luminosa, la pieza a verificar, un sistema de aumento y una pantalla receptora de la imagen ampliada.

La siguiente figura representa un corte transversal del aparato; los rayos luminosos que provienen de una lámpara eléctrica se reflejan en un prisma que los reenvía a través de un microscopio a un espejo inclinado en donde se reflejan hacia la pantalla. La pieza se coloca en un soporte apropiado entre el prisma y el microscopio, de manera que el perfil a verificar colocado sobre la trayectoria

de los rayos luminosos, sea proyectado sobre la pantalla ampliando 50 veces y puede examinarse fácilmente por el operador situado delante del aparato.



*Figura 8.12. Vista en corte de un comparador Hartness*

### **Preparación de las muestras**

La actividad complementaria a este proceso metroológico supone la preparación de los cortes pertinentes, que vienen especificados en el plano.

Con este fin se puede emplear una sierra de disco, sierra de hilo con recubrimiento de diamantes etc.

Es muy importante la fijación de la muestra en el sistema de corte para comprender la zona de interés, el plano medio, el centro geométrico del detalle. Una vez obtenida la sección hay que pulir la superficie y limpiarla de las posibles rebabas inherentes al proceso de corte.

En piezas tipo conector con elementos alargados, en consola, elásticos o de baja rigidez que podrían sufrir deformaciones remanentes o alteraciones en la zona de interés durante el proceso de corte, realizamos probetas de estas, rigidizando su estructura en una resina líquida y con buena fluidez que después de 24h están lista para el proceso de corte.

Antes de empezar a medir hay que idear un buen sistema de fijación sobre la mesa de cristal del proyector de perfiles, para evitar posibles riesgos de movilidad.

### **Verificación de Roscas por Proyección**

En este método se proyecta sobre una pantalla una imagen ampliada del perfil de la rosca a verificar y se la compara a un perfil-tipo trazado sobre la pantalla como se muestra en la figura 8.13, a una escala correspondiente a la relación de ampliación dada por el aparato, que puede alcanzar, según los modelos, de x10 a x100.



*Figura 8.13. Analizando el perfil de una rosca*

De esta manera se puede medir los errores de forma y simetría del perfil y las características de la rosca.

La rosca a examinar debe orientarse de tal manera que el eje óptico del aparato proyector coincida con la tangente a la hélice media de la rosca; es con esta condición como se obtendrá sobre la pantalla una imagen con contorno nítido. El perfil observado corresponde pues a una sección de filete por un plano normal a la hélice media y no a una sección axial, y el paso proyectado vale  $p \cos \alpha$ , siendo  $\alpha$  el ángulo de la hélice media.

**Observación.** Los aparatos así empleados son en realidad comparadores ópticos de perfiles; también se utilizan para verificar, por comparación, perfiles de plantillas, presentándose estas a un plano normal al eje óptico.

### 8.7. PLANTILLAS

-Plantillas de radios. Permiten controlar radios tanto interiores como exteriores por el método de comparación



*Figura 8.14. Plantillas de radios*

-Plantillas de ángulos. Permiten controlar ángulos por método de comparación. Rango: 1~45°



*Figura 8.15: Plantillas de ángulos*

-Plantillas de roscas. Permite determinar el paso de roscas ó la cantidad de hilos por pulgada por método de comparación. también los hay para roscas métricas y Whitworth



*Figura 8.16: Plantillas de roscas*

### **8.8. MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS**

Las primeras máquinas de coordenadas en realidad fueron las máquinas de trazos, que son instrumentos con tres ejes mutuamente perpendiculares a fin de alcanzar coordenadas volumétricas en un sistema cartesiano para localizar un punto en el espacio sobre una pieza con tres dimensiones. Se conoce que a finales del año 1962, la firma italiana DEA construyó la primera máquina de medición cerca de Turín, Italia.

Posteriormente en 1973 la compañía Carl Zeiss creó una máquina, equipada con un palpador, un ordenador y un control numérico.

Desde entonces han surgido muchas marcas y modelos de máquinas de coordenadas, que se distinguen entre sí por sus materiales de fabricación utilizados, software utilizado, versatilidad, alcances de medición, etc.

La Máquina de Medición por Coordenadas (CMM) puede ser definida como "una máquina que emplea tres componentes móviles que se trasladan a lo largo de guías con recorridos ortogonales, para medir una pieza por determinación de las coordenadas X, Y y Z de los puntos de la misma con un palpador de contacto o sin él y sistema de medición del desplazamiento (escala), que se encuentran en cada uno de los ejes", figura 8.17. Como las mediciones están representadas en el sistema tridimensional, la CMM puede efectuar diferentes tipos de medición como: dimensional, posicional, desviaciones geométricas y mediciones de contorno.



*Figura 8.17. Máquina de medición por coordenadas.*

Los procedimientos de medición y procesamiento de datos de las CMM, poseen una serie de características que se describen a continuación: Primeramente se tiene un sistema de posicionamiento que provoca que el palpador, figura 8.18, alcance cualquier posición en X, Y o Z; este sistema de posicionamiento puede ser accionado a través de unos motores, que a su vez, poseen unos codificadores ópticos rotatorios, los que producirán una señal adecuada para activar un contador que incrementará su número en relación a la posición del eje con respecto de su origen.



*Figura 8.18. Palpador de una CMM*

En este sistema como en otros es de primordial importancia la existencia de un origen para poder determinar la posición.

El sistema dispondrá además de un palpador que al ser accionado, hará que los datos del contador del sistema de posicionamiento sean trabajados por la unidad principal de la CMM y sean transformados en coordenadas X, Y y Z y además se apliquen las fórmulas programadas para después desplegar los datos en una pantalla de cristal líquido.

Los softwares comerciales básicos de CMM cuando menos, manejan los elementos geométricos regulares como son el punto, la línea, el plano, el círculo, la esfera, el cilindro y el cono .

### **8.8.1. Aplicaciones de las máquinas de medir por coordenadas**

Las máquinas de medir por coordenadas (CMM) se utilizan para las siguientes aplicaciones:

- Control de la correspondencia entre un objeto físico con sus especificaciones teóricas (expresadas en un dibujo o en un modelo matemático) en términos de dimensiones, forma, posición y actitud.
- Definición de características geométricas dimensionales (dimensiones, forma, posición y actitud) de un objeto, por ejemplo un molde cuyas características teóricas son desconocidas.

### **8.8.2. Instalación de una CMM:**

#### **Atención al entorno**

Los costes asociados a una máquina de medir por coordenadas van generalmente más allá de la propia máquina. En efecto, la ubicación de la misma y las condiciones de su entorno deben cumplir diversos requisitos para que los resultados de la medición sean fiables.

Una CMM puede ser instalada en distintos ambientes de trabajo, que en mayor o menor medida estarán bajo la influencia de los siguientes factores externos:

#### **1. Suciedad**

- a. Ambientes limpios
- b. Ambientes contaminados: partículas en suspensión (humedad, aceite, polvo, otras partículas)

#### **2. Temperatura / humedad**

- a. Gradientes térmicos temporales
- b. Gradientes térmicos espaciales
- c. Humedad relativa

### 3. Vibraciones

- a. Frecuencia
- b. Amplitud

En función de estas tres variables puede actuarse de distintas maneras. Una de ellas es utilizar una máquina adecuada, pensada para que su comportamiento sea inerte frente a alguno de estos parámetros. La otra, acondicionar el ambiente para dejar la máquina a salvo de estos factores perturbadores.



*Figura 8.19. CMM en las instalaciones adecuadas*

#### 8.8.3. Las arquitecturas de las CMM

La arquitectura de una CMM cambia según una serie de parámetros, el más importante es el volumen de medición. Algunos tipos de arquitectura se diseñaron en un principio para controlar las máquinas manualmente. Por tanto, intentar crear CMMs grandes con esos tipos de estructura sería imposible o ilógico, debido a consideraciones ergonómicas y de prestaciones.

Otro aspecto muy importante es la accesibilidad a la pieza que se tiene que medir. No sería conveniente utilizar una CMM de puente vertical para una pieza en la que la mayor parte de características se tienen que medir en direcciones perpendiculares al eje de Z .

Además, la tendencia es maximizar la “rigidez” de la estructura reduciendo a la vez la “masa”, para conseguir la mayor aceleración (y deceleración) posible.

Los parámetros dinámicos de la CMM se pueden malinterpretar fácilmente; por tanto es muy importante mirar las cifras que expresan estos valores y saberlas entender.

Las arquitecturas mas utilizadas son las siguientes:

- Cantilever con mesa fija
- Puente móvil
- Gantry
- Puente en forma de “L”
- Puente fijo
- Cantilever con mesa móvil
- Columna
- Brazo móvil, brazo horizontal
- Mesa fija brazo horizontal
- Brazo articulado

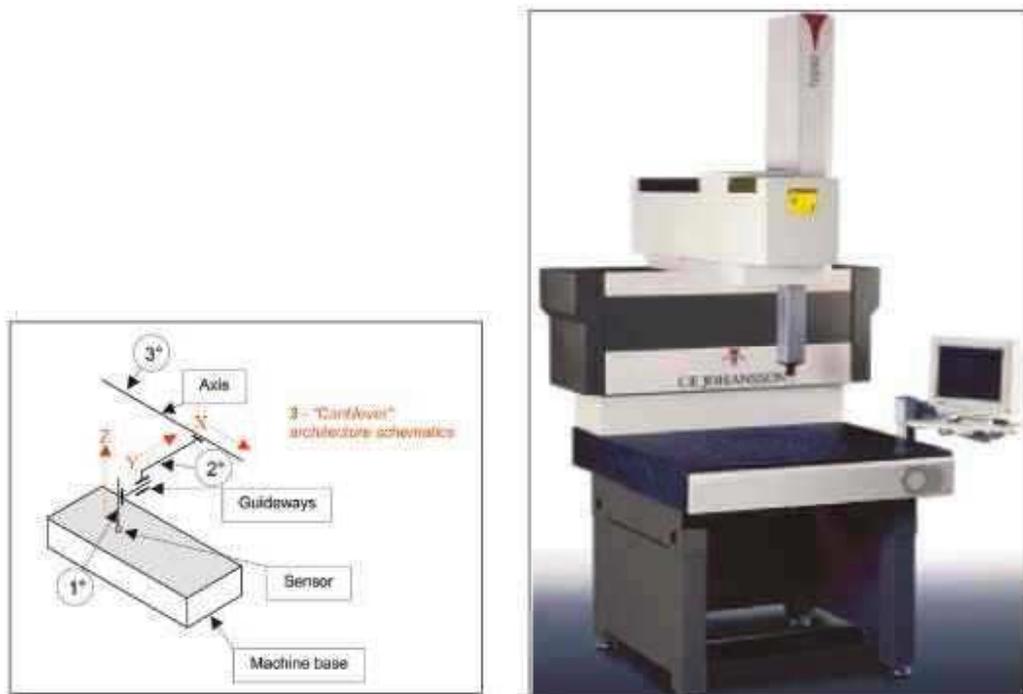
Todos estos tipos de arquitecturas no tienen la misma difusión, por varias razones, por ejemplo, algunas son adecuadas para CMMs de grandes dimensiones y por tanto, que no se usan con tanta frecuencia. Otras, simplemente no aportan ninguna ventaja comparado con arquitecturas que son más fáciles y baratas de producir. Por tanto, sólo se describen las que tienen una mayor difusión en la industria.

A continuación se describen las arquitecturas de CMM más utilizadas, el lector que desee tener una visión general sobre ese tema puede consultar la publicación ISO 10360-1.

### **Cantilever con mesa fija**

Es un tipo de arquitectura que actualmente no se usa mucho y que en un principio se aplicó a CMMs manuales. Ese tipo de arquitectura se describe en la ISO 10360-1 del siguiente modo: “Es una CMM que utiliza tres componentes que se mueven por guías de forma perpendicular entre ellos, el sensor se encuentra en el primer componente, que se mueve de forma vertical en relación con el segundo. La combinación del primer componente con el segundo se mueve horizontalmente al tercero. El tercer componente está agarrado sólo por un extremo. Cantilever se mueve horizontalmente respecto a la base de la máquina donde se encuentra la pieza”.

Se ha de tener en cuenta (y eso servirá para todo el artículo) que ISO incluye la siguiente nota a todos los tipos de arquitectura: “Las direcciones que se indican son a modo de información. Existen otros modos”.



Axis= eje

Guideways=guías

Sensor=sensor

Machine base=Base de la máquina

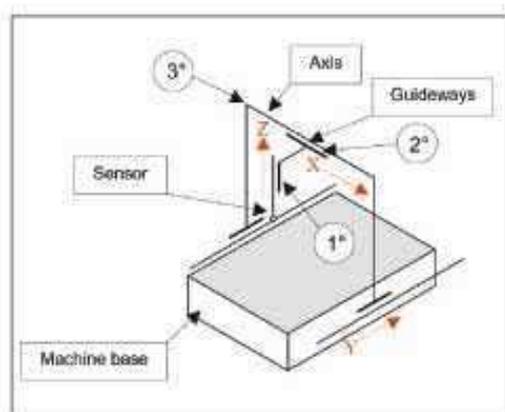
Figura 1. Esquema de arquitectura “Cantilever”

**Figura 8.15. Una CMM con arquitectura “Cantilever”**

El movimiento de los ejes de una CMM cantilever manual se consigue cogiendo la punta y a través de ella mover los ejes de la máquina a la posición que se desee. Como todas las máquinas de medición por coordenadas manuales, incluso las que se basan en el tipo de arquitectura en cuestión, dependen en gran medida de la habilidad del operario, sin embargo, un operario que haya recibido la formación necesaria puede alcanzar un nivel de medición muy bueno y repetible. Sin embargo, trabajar con la punta para acelerar y decelerar la masa de las partes móviles de la máquina puede llevar a la deflexión de la propia máquina. Eso puede cambiar las características metrológicas del sistema.

### Puente móvil

Se trata sin lugar a dudas del tipo de CMMs más utilizadas. Se ha perfeccionado con el paso de los años. Esta arquitectura ha permitido alcanzar un equilibrio perfecto entre la perfección estructural y la eficiencia funcional, figura 8.16.



Axis= eje

Guideways=guías

Sensor=sensor

Machine base=Base de la máquina

Figura 3. Esquema de arquitectura de Puente Móvil

**Figura 8.16. Una CMM con arquitectura de “puente móvil”**

Las máquinas de medición de puente móvil son versátiles y adecuadas para muchas aplicaciones en piezas simples, complejas y de superficie irregular. Ese tipo de arquitectura se describe en la ISO 10360-1 del siguiente modo:

“Es una CMM que utiliza tres componentes que se mueven por guías de forma perpendicular entre ellos, el sensor se encuentra en el primer componente, que se mueve de forma vertical en relación con el segundo. La combinación del primer componente con el segundo se mueve horizontalmente al tercero. El tercer componente está agarrado por dos piernas situadas a lados opuestos de la base de la máquina y se mueve horizontalmente respecto a la base de la máquina donde se encuentra la pieza”.

La máquina de medición por coordenadas de puente móvil es la más utilizada en la industria. Gracias a este tipo de arquitectura se han podido crear máquinas con volúmenes de medición muy grandes; a modo de ejemplo, las más pequeñas tienen 0,1 dm<sup>3</sup> y las más grandes 8m<sup>3</sup>, este es el límite al que es posible medir con el puente móvil de forma eficiente. El movimiento de los ejes de las máquinas con puente móvil se puede tener con como manual o digital.

El éxito de este tipo de máquinas se debe básicamente a una serie de factores:

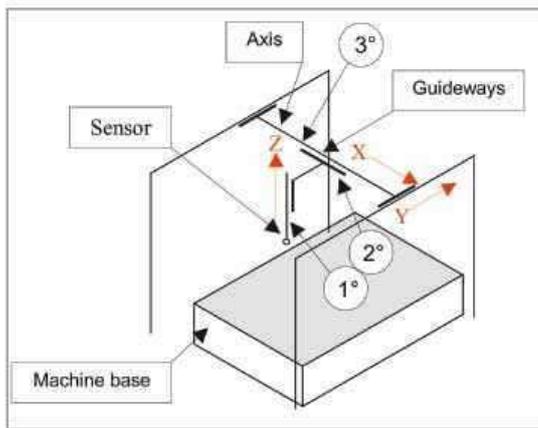
- La accesibilidad a la pieza que se tiene que medir
- Ergonomía
- Rendimiento dinámico
- Rendimiento metrológico
- Estructura isostática (normalmente no necesita fundamentos)
- Fácil manejo
- Volúmenes de medición adecuados para la medición de componentes complejos de dimensiones compatibles con los centros de producción más comunes

Además, el gran número de CMMs de puente móvil que se instalan cada año en todo el mundo, ha promocionado el desarrollo de accesorios y opciones que han mejorado aún más la versalidad de este tipo de arquitectura .

### **Gantry**

Este tipo de arquitectura permite crear los auténticos “gigantes” en CMMs ; con esta arquitectura se han podido crear máquinas con un volumen de medición mayor a 100m<sup>3</sup>. Debido a las dificultades técnicas que se tienen que superar para crear estas enormes CMMs, se produjo una verdadera lucha con la tecnología para diseñar estos gigantes de la metrología, este diseño se utilizaría más tarde para máquinas en serie.

Incluso si no se utilizan tanto como las de puente móvil, las CMM gantry son el único instrumento de medición para medir con precisión componentes muy grandes como los motores grandes o las complejas estructuras aeroespaciales, etc.



*Axis= eje*

*Guideways=guías*

*Sensor=sensor*

*Machine base=Base de la máquina*

**Figura 8.17. a) Esquema de arquitectura Gantry b) Una CMM con arquitectura “gantry” (y doble carro)**

Respecto al puente móvil, las CMM gantry permiten minimizar las masas móviles (en dimensiones comparables), tiene ventajas que son evidentes cuando una CMM gantry muy grande se describe según la ISO 1036-1 del siguiente modo:

“Es una CMM que utiliza tres componentes que se mueven por guías de forma perpendicular entre ellos, el sensor se encuentra en el primer componente, que se mueve de forma vertical en relación con el segundo. La combinación del primer componente con el segundo se mueve horizontalmente al tercero. El tercer componente se mueve de forma horizontal por dos guías que se levantan a ambos lados de la máquina por encima de la base donde se encuentra la pieza ”.

#### **Brazos articulados de medida:**

Son brazos que los puedes llevar a medir a la pieza que te interese, buscando una buena zona de agarre para posteriormente calibrar medir, estos brazos no son muy precisos pero puede ser la única opción de medir en una situación especial.

- Incertidumbre alta, es decir, menos precisión
- Gran movilidad



*Figura 8.18. Brazo articulado de medida. Fuente Faro*

**De un brazo horizontal: necesitan más espacio (más utilizada en automoción).**

- Grandes rangos de medición.
- Buena accesibilidad.
- Incertidumbre alta, es decir, menor precisión.



*Figura 8.19. De brazo horizontal*

**De 2 brazos:**

Se utilizan en automoción normalmente y cada brazo mide un lateral del vehículo, llegando a tener precisiones de centésimas de milímetro (más utilizada en automoción).

- Grandes rangos de medición.
- Buena accesibilidad.
- Incertidumbre alta, es decir, menos precisión.



*Figura 8.20. De dos brazos*

**En cuanto a las ventajas de este tipo de maquinaria destacan:**

1. Aumento de productividad en las mediciones tanto para geometrías sencillas como sobre todo para geometrías complejas (reducción de tiempos de medición).
2. Mejora de la precisión
3. Posibilidad de control estadístico
4. Almacenamiento de datos y generación automática de informes

Pero este tipo de máquinas tienen también una serie de inconvenientes:

1. Necesidad de personal cualificado formado
2. Inversión elevada
3. Actualizaciones de programas/mantenimiento de la instalación,...
4. Tiempos de programación elevados que se justifican sobre todo para la medición repetitiva en serie.

No obstante estos inconvenientes, este tipo de máquinas son las más extendidas en la industria y su integración en el proceso productivo supuso en su día una auténtica revolución en el proceso de verificación dimensional.

### **8.9. LA MEDIDA SIN CONTACTO.**

La medida sin contacto es cada vez más solicitada en el mundo industrial. Una de las técnicas más utilizadas es la denominada metrología por vía óptica con la que actualmente existen en el mercado aparatos que consiguen precisiones de 2 micras, 300 aumentos y cuentan con cámaras a color de alta resolución y zooms con enfoque automático. Estos sistemas son la evolución de los proyectores de perfiles tradicionales.

La gran ventaja de la medición óptica es su rapidez. Cada vez es más importante reducir los tiempos de medición para poder reducir los costes y acortar los plazos de entrega para poder dar una respuesta rápida. Estos sistemas permiten medir en 2D, 3D y con software de medición (COSMOS) o comparativa CAD (Metrolog, PCDMIS o software propio de los fabricantes). Los digitalizados en 2D se consiguen con una gran precisión y rapidez, de forma automática, por que la máquina se encarga de reconocer el contorno y reseguirlo sin ninguna ayuda del metrólogo.

Otra ventaja importante es que permiten medir piezas de tamaño muy reducido con gran precisión y comodidad. Su tecnología, que por el momento ofrece todavía algunas dudas respecto a la medición en 3D, se está comparando con la fotogrametría, el escáner láser y la luz blanca, que son otras tecnologías que ya funcionan muy bien. Por el momento se ha optado por instalar en los sistemas de visión, sondas TP2 de contacto, para complementar las mediciones 3D.



*Figura 8.21. Máquina de medición de micro piezas F25 (Fuente Carl Zeiss)*

Las tecnologías convencionales de escaneo masivo (láser, luz blanca, etc.) obtienen la medición de las coordenadas espaciales de millones de puntos (proceso muy rápido comparado con la medición por contacto para el mismo número de puntos). Su argumentación tecnológica es que al obtener los puntos masivamente éstos se pueden usar para mediciones “virtuales” a posteriori y dan más riqueza de información.

Los sistemas ópticos se fundamentan en el cálculo de la profundidad mediante la técnica de triangulación.

Un sistema óptico activo siempre consta, como mínimo, de 2 elementos en el cabezal de medida: un emisor de luz y un receptor, estos están separados entre sí en una distancia  $d$  conocida y forman entre sí unos ángulos determinados. El sistema emite luz hacia la superficie que se pretende medir y ésta la refleja, llegando parte de esta reflexión al receptor. Conociendo la dirección del rayo emitido y la del rayo recibido se pueden resolver las dimensiones del triángulo formado y, por tanto, obtener la profundidad del punto inspeccionado. La principal ventaja de estos sistemas es que la medición se realiza sobre la superficie misma de la pieza y no necesita, compensación de radio.

### **8.9.1 El escáner con luz blanca**

El escáner por haz de luz Blanca, y escáner láser. Ambos sistemas, aunque utilizan una tecnología diferente, están basados en la reflexión de la luz sobre la pieza. Se proyecta un haz de luz, éste se refleja en la pieza y vuelve al lector del scanner. Y en ese momento, el lector captura la luz y establece la coordenada del punto en donde se ha reflejado la luz. (A grandes rasgos).

La principal ventaja es que pueden digitalizar un área completa sin mover ningún cabezal y obtener en una sola captura más de un millón de puntos situados sobre la superficie de la pieza. Su precisión es similar a la del láser, pero no podemos ver lo que estamos escaneando en tiempo real. Según vamos sacando fotografías debemos ir alineándolas mediante software para comprobar que estamos digitalizando correctamente



*Figura 8.22. Equipo Cognitens Opticell, medición óptica automatizada en 3D para el taller.*

Después de este proceso, se utilizan diversos programas para unir estos puntos en una malla de triángulos, en donde cada triángulo forma un diminuto plano. (Aquí intervienen factores como la tolerancia del escáner, la tolerancia del mallado de los triángulos, etc.).



*Figura 8.23. Software para ser utilizado con productos Opticell*

Una vez que se tiene la malla de triángulos, existen programas específicos para ingeniería inversa, que permiten seccionar los triángulos, suavizarlos, proyectar sobre ellos curvas, obtener perfiles, etc. Todo ello se convierte en curvas que posteriormente utilizaremos para la creación de

superficies 3D en un software CAD 3D de superficies. También existe la posibilidad de construir superficies en los mismos softwares que facilitan el tratamiento de triángulos, pero normalmente no tienen tantas herramientas como un software de CAD. Por último, es imprescindible un software que nos permita comparar el archivo de triángulos con las superficies generadas, para depurar errores.

### **8.9.1.1. Aplicaciones**

#### **Escáner 3D de luz blanca estructurada SIDIOPro de nub3d**

El escáner 3D SIDIO Pro permite la medición de superficies en 3D para dar soporte a los procesos de diseño e ingeniería inversa, control de calidad e inspección.

Dispone de una nueva tecnología de proyección, basada en su totalidad en componentes digitales, que reduce el tiempo de adquisición de datos convirtiéndolo en el escáner más rápido del mercado en esta gama de resolución, según señala la empresa.

Entre sus ventajas destacan el poder digitalizar sin necesidad de marcas físicas sobre la pieza y una nueva tecnología de proyección que permite la digitalización de chapa sin spray. Esto lo hace ideal para su utilización en sectores como chapa, estampación, fundición, etc.



*Figura 8.24. Escáner 3D de luz blanca estructurada.*

#### **Control dimensional en la línea de producción de nub3d**

Las principales características de este sistema son una velocidad de disparo de 0,26 segundos con una adquisición de 1,4 millones de puntos por disparo, la posibilidad de medir sin necesidad de

marcas físicas sobre la pieza, la capacidad de medir piezas de chapa sin necesidad de utilizar spray matizador y un cabezal preparado para los entornos de fabricación más exigentes.

El software incluye librerías para integración con robots, fácilmente programables y adaptables a las necesidades del cliente e integración con el software líder en el campo de la inspección a partir de nubes de puntos, Polyworks/Inspector.



*Figura 8.25. Equipo nub3d trabajando conjuntamente con un robot.*

### **8.9.2. El escáner láser**

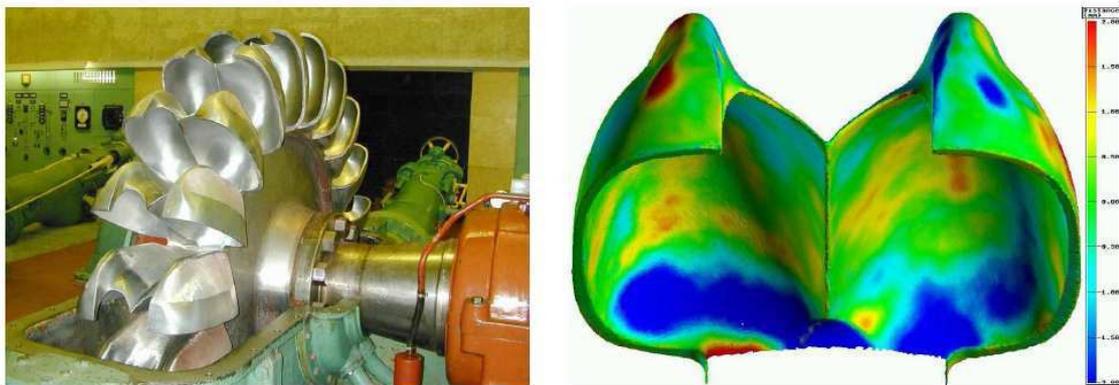
Los escáneres láser juegan un papel clave en la garantía de calidad. La captura digital 3D de formas y superficies utilizando láseres es un proceso muy preciso y que no requiere esfuerzo.

Un escáner 3D puede acoplarse rápida y fácilmente como un sensor a un brazo de medición o puede trabajar con la máxima precisión como parte de un sistema Laser Tracker o una máquina de medición de coordenadas fija. El software genera datos 3D en tiempo real a partir de la nube de puntos creada por el escáner y reconoce inmediatamente las desviaciones respecto a los datos CAD.



*Figura 8.26. . La aplicación PC-DMIS Reshaper para brazos y escáneres ROMER es un completo software de procesamiento de nubes de puntos en 3D para usuarios que necesitan contar con nubes de puntos generadas con rapidez y obtener mallas en 3D de gran calidad a un precio asequible.*

Los escáneres láser comprueban si un objeto de medición se corresponde con sus valores nominales. Las áreas de aplicación son muy amplias: control de entrada de piezas de proveedores, comprobación de moldes y herramientas o mediciones de contorno son solo algunas de las típicas aplicaciones en la industria. La mayoría de aplicaciones están enfocadas a la inspección y el control, pero también la ingeniería inversa es un importante ámbito de aplicación de los escáneres láser.



*Figura 8.27. Medición 3D de una turbina mediante ingeniería inversa*

### 8.9.2.1 Aplicaciones

#### Uso de Láser Tracker en el sector Aeronáutico

Una de las principales características constructivas del sector aeronáutico está relacionada con las grandes dimensiones que tienen incluso las aeronaves de capacidad reducida. Este hecho obliga a las empresas de esta industria a disponer de unas infraestructuras dimensionadas de forma que puedan manipularse conjuntos de gran volumen.

En fase de producción se requiere maquinaria capaz de alojar grandes piezas e incluso en la fase de montaje las gradas y útiles utilizados llegan a tener dimensiones superiores a las de las alas o el fuselaje de la aeronave que se está fabricando. Este hecho dificulta el cumplimiento de los rigurosos estándares de calidad y efectivamente el mayor reto consiste no solamente en la fabricación propiamente dicha de los conjuntos y los útiles necesarios para su montaje, sino en el control dimensional y alineación del conjunto.



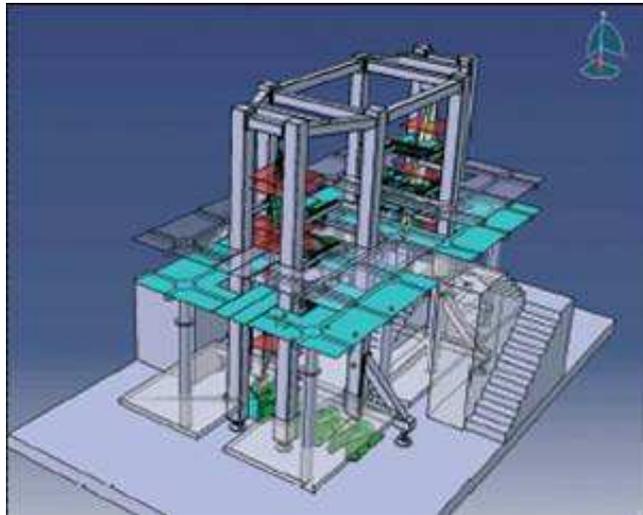
*Figura 8.28. Medición con láser en la industria aeronáutica*

El uso de equipos con tecnología de medición por láser permite alcanzar resultados muy fiables y facilita tanto el trabajo de puesta a punto de utillajes, como el montaje y el control final. Por otro lado esta tecnología permite la calibración de los elementos de control y la creación de modelos 3D a partir de las piezas físicas (ingeniería inversa).

Existen diferentes tipos de equipos en función de la aplicación, los rangos de medición y la precisión.

En el caso de la fabricación de útiles de moldeo de grandes piezas en materiales compuestos, el uso de equipos de Laser Tracker portátiles ha permitido agilizar el proceso productivo y los controles finales, eliminando la necesidad de medir los conjuntos en máquinas tridimensionales y por lo tanto eliminando también las restricciones en volumen de los conjuntos. Este hecho es particularmente relevante ya que cada vez más se fabrican componentes estructurales de grandes dimensiones en materiales compuestos.

Otra aplicación importante se encuentra en la puesta a punto de líneas de montaje. Al igual que en el sector automoción, la automatización del proceso de montaje puede verse en cada vez más ocasiones debido al creciente volumen de producción de aeronaves y a la fuerte necesidad de generación de economías de escala.



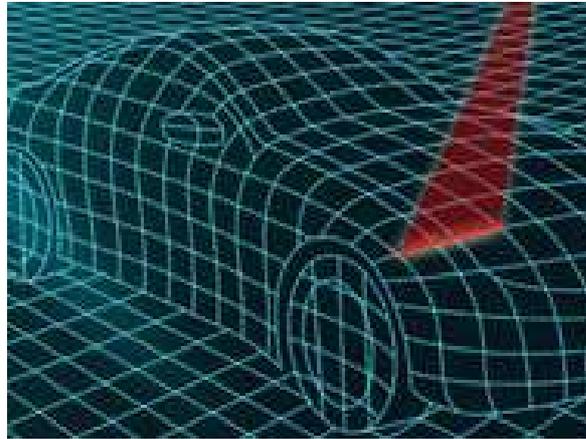
*Figura 8.29. Líneas de montaje*

### **Sector automotriz**

Dado que en el sector del automóvil hay una constante presión por **reducir costes y tiempos** (que viene a ser lo mismo...) la metrología y los útiles de control no se escapan a esta tendencia. La metrología dimensional y el control de calidad siempre han estado presentes en la cadena de producción industrial, y en el caso del automóvil las exigencias en este campo se han llevado siempre al límite de lo que nos permite la tecnología en cada momento.

En los últimos años hemos visto evolucionar el software de medición a pasos agigantados, para mejorar la captación de datos, lectura de ficheros y geometrías, mejorar la usabilidad del software, reducir los tiempos de formación y aprendizaje, automatizar los procesos de medición mediante programación CNC, calibración automática de palpadores y un largo etcétera de aspectos que han

mejorado notablemente los tiempos muertos no productivos. Incluso algunos paquetes de CAD, como Catia V5R10 han incorporado un módulo que permiten la interconexión directa con software de metrología para facilitar la programación off-line.



*Figura 8.30. Representación conceptual del escaneado láser de la carrocería de un automóvil*

Por otro lado, los fabricantes de máquinas CMM han ido añadiendo mejoras para poder acercar las máquinas tridimensionales al taller y a los lugares de producción, a las células de mecanizado, estampación, inyección, etc. y de este modo poder tener un control a tiempo real y retroalimentar a los sistemas de fabricación en caso necesario para corregir los errores. En definitiva: ganar tiempo al tiempo, reducir las mermas y devoluciones.

Una iniciativa bautizada como I++DME, llevada a cabo por varios fabricantes de vehículos europeos (Volvo, Volkswagen, AUDI, Daimler Chrysler y BMW) persigue estandarizar los sistemas de inspección en diferentes puntos de la cadena productiva (metrología in-line), estandarizando los procesos y las tomas de datos independientemente de la tecnología que se utilice.

Paralelamente, con la introducción de sensores y tecnologías de medición sin contacto, llamada metrología virtual, que permiten la toma de nubes de puntos mediante sensores CCD, tecnologías láser, luz blanca, escaneado ó fotogrametría y que permiten nuevas prestaciones inalcanzables por los sistemas tradicionales que cubren áreas donde las CMM no podían llegar. El software y el hardware han tenido que mejorar mucho para poder tratar estas nubes de puntos sin dificultad. El tratamiento digital de geometrías es denominado DSSP.

### 8.10. METROLOGÍA PORTÁTIL

Y finalmente otro campo que ha avanzado en gran medida es el de la metrología portátil, mediante brazos de medición o láser-trackers, de la mano de compañías como FARO, Leica, Romer, etc.. o GOM en el caso de la fotogrametría. Sistemas que permiten trabajar sin cables, con conexión al PC, con tolerancias de hasta 0,01 mm y capacidad de medición hasta 14m. Estos sistemas incluso permiten combinarse entre sí (Brazo+Láser-traker) y pueden adaptar sistemas de captación de puntos sin contacto.



*Figura 8.30. Aplicación de la metrología portátil en un taller*

En cualquier caso, lo más importante frente a tanta diversidad, es saber escoger la tecnología correcta para nuestra aplicación. Si escogemos una tecnología avanzada en exceso se corre el riesgo de pagar un precio sumamente elevado a la vez que podemos exponernos a sacar a la luz aspectos que no nos sean favorables. Por el contrario, si escogemos una tecnología obsoleta ó que técnicamente queda lejos de nuestras necesidades, estaremos invirtiendo tiempo y dinero en un sistema que no nos va a detectar lo que necesitamos que detecte, o si lo hace puede ser que los resultados no tengan la precisión suficientemente necesaria para la toma de decisiones.

Y delante de este panorama, quien es capaz de augurar el futuro que le esperan a los útiles de control, que no dejan de suponer un coste importante, delante de todas estas tecnologías

### 8.11. RÁPIDA DIFUSIÓN EN LA INDUSTRIA, EL ARTE Y LA CIENCIA

No sólo la industria ha encontrado aplicación a este procedimiento, también en la medicina, el arte y los oficios se generan datos 3D con escáneres para digitalizar objetos y poder duplicarlos más fácilmente. La ingeniería inversa hace más fácil a muchos desarrolladores el trabajo con

prototipos. La industria ofrece distintos sistemas de escáner dependiendo de la tarea de medición. En función del tamaño de los objetos de medición, de la precisión exigida y del presupuesto del que se dispone, las máquinas de medición de coordenadas portátiles de fabricantes como Leica Geosystems o ROMER son la solución correcta.



**Figura 8.31. Escaneado tridimensional mediante luz blanca estructurada (Fundación Prodintec, España)**

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Burgos, Manuel. Medición e instrumentación. Apuntes de clase. FES-Cuautitlán. 1983
2. Miño, Carlos. Curso de Instrumentos de medición.
3. Measureup, Hexagon Metrology. Escáneres láser, edición 02/2009.pag.14
4. Peñaloza, Daniel. Uso de Láser Tracker en el sector Aeronáutico
5. <http://www.visioneng.com/es/metrology/index.htm>
6. <http://www.hexagon.es/news/noticia.asp?id=191>
7. <http://www.baty.co.uk/>
8. <http://www.mitutoyo.com/ProductTypeResultForm.aspx?type=102>
9. [http://3shape.com/inspection/\\_inspection/inspection.htm](http://3shape.com/inspection/_inspection/inspection.htm)
10. <http://www.geomagic.com/en/products/qualify/>
11. <http://www.metrologicgroup.es/Sp/index.htm>
12. <http://pdf.directindustry.es/pdf/ultra-prazision-messzeuge/>

