

13  
2-j.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**LA METROLOGIA GEOMETRICA DIMENSIONAL  
COMO BASE FUNDAMENTAL DEL CONTROL  
DE LA CALIDAD**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA :**

**VICTOR MANUEL PERALTA ORTEGA**

**DIRECTOR DE TESIS :**

**ING. HERMENEGILDO ROBERTO GALICIA SANCHEZ**



**CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO, 1989**

**FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## IV

## I N D I C E

Votos aprobatorios .....	II
Dedicatoria .....	III
Introducción .....	VIII
 CAPITULO 1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES	
1.1 Definición de Metrología .....	1
1.2 Tipos de Metrología .....	1
1.3 Características que debe reunir un laboratorio de Metrología Geométrica .....	2
1.3.1 Temperatura de medición .....	2
1.3.2 Humedad del aire .....	2
1.3.3 La iluminación .....	3
1.3.4 Instalación exenta de vibraciones y polvo .....	3
1.3.5 Recomendaciones extra .....	4
 CAPITULO 2 TEORIA BASICA DE LA METROLOGIA GEOMETRICA DIMENSIONAL	
2.1 Fundamentos de la teoría de medición .....	5
2.1.1 Concepto de medición .....	5
2.1.2 Sistemas de medición .....	5
2.1.3 Teoría de los errores .....	6
 CAPITULO 3 INSTRUMENTOS Y APARATOS DE MEDICION	
3.1 Clasificación de los instrumentos y aparatos de medición ...	13
3.1.1 Instrumentos y aparatos de medición directa .....	14
3.1.2       "       "       "       "       "       indirecta .....	14
3.1.3       "       "       "       "       "       según su sistema- de funcionamiento .....	14
3.2 Principio de operación del calibrador con vernier y del micrómetro .....	15

3.2.1	El calibrador con vernier o pie de rey .....	15
3.2.2	El micrómetro .....	22
3.3	Patrones .....	35
3.3.1	Generalidades .....	35
3.3.2	Clasificación de los patrones .....	35
3.3.3	Descripción de la clasificación de los patrones .....	36
3.3.4	Utilización de los patrones .....	41
3.4	Comparadores .....	45
3.4.1	Generalidades .....	45
3.4.2	Comparador de carátula .....	45
3.4.3	Método de operación .....	48
3.4.4	Comparadores ópticos .....	49
3.4.5	" neumáticos .....	50
3.5	Calibres .....	56
3.5.1	Generalidades .....	56
3.5.2	Tipos de calibres .....	56
3.5.3	Formas de los calibres .....	56
3.5.4	Utilización de los calibres .....	60
 CAPITULO 4 VERIFICACION DE MAGNITUDES		
4.1	Verificación de superficies planas .....	61
4.1.1	Instrumentos para verificar superficies planas .....	61
4.1.2	Métodos para verificar superficies planas .....	67
4.2	Verificación de ángulos .....	73
4.2.1	Instrumentos para verificar ángulos .....	73
4.2.2	Métodos para verificar ángulos .....	81
4.3	Verificación de roscas .....	86
4.3.1	Instrumentos para verificar roscas .....	86
4.3.2	Métodos para verificar roscas .....	89

## VI

4.4 Verificación de engranes .....	97
4.4.1 Instrumentos para verificar engranes .....	97
4.4.2 Métodos para verificar engranes .....	101
4.5 Verificación de la rugosidad .....	105
4.5.1 Instrumentos para verificar la rugosidad .....	105
4.5.2 Métodos para verificar la rugosidad .....	107
4.6 Verificación de tolerancias de forma y posición .....	109
4.6.1 Tipos de tolerancia .....	109
4.6.2 Verificación de tolerancias de forma y posición .....	113
4.6.3 Máquina para verificar la redondez .....	114
 <b>CAPITULO 5 APLICACION DE LA METROLOGIA GEOMETRICA DIMENSIONAL AL CONTROL DE LA CALIDAD</b>	
5.1 Control estadístico .....	115
5.1.1 Distribución de frecuencias .....	115
5.2 Muestreo .....	120
5.2.1 Generalidades .....	120
5.2.2 Muestreo por atributos .....	120
5.3 Gráficas $\bar{x}$ , R .....	130
5.3.1 Generalidades .....	130
5.3.2 Terminología de gráficas $\bar{x}$ , R .....	130
5.3.3 Recomendaciones para elaborar una gráfica de control ..	131
5.3.4 Interpretación de las gráficas $\bar{x}$ , R .....	132
5.4 Capacidad de máquina ( o de proceso ) .....	136
5.4.1 Generalidades .....	136
5.4.2 Características de la curva normal y obtención de da- tos .....	137
5.4.3 Modificaciones en el estudio de capacidad de máquina ..	143

VII

CAPITULO 6 CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones .....	145
6.2 Sugerencias .....	146
BIBLIOGRAFIA .....	148

## INTRODUCCION

Considerando que actualmente la Metrología es muy importante en su aplicación Geométrica y Dimensional de piezas mecanizadas y órganos montados que entran en la construcción de máquinas que requieren de rigurosa precisión, es indispensable que se tengan los conocimientos más importantes sobre la materia en cuestión; para que se lleve un excelente Control de la Calidad que es una de las bases fundamentales en todas las etapas de fabricación de productos maquinados.

Al poseer dichos conocimientos significa simultáneamente una garantía contra reclamaciones de cualquier índole y a su vez una protección contra los defectos y errores posibles.

Y ahora que el país ingresó al GATT ( Acuerdo General Sobre Tarifas y Aranceles ) se debe exigir a las empresas sean grandes, medianas o pequeñas, que sus productos ( desde el punto de vista Metrología ) - realmente resulten competentes en cualquier tipo de mercado.

Por lo cual el objetivo principal de esta tesis es la de realizar un estudio en el cual se abarcarán los conceptos primordiales de la Metrología Geométrica Dimensional, y enfocarla como base fundamental de las técnicas empleadas en el Control de la Calidad.

Empezando desde definiciones, concepto de medición, sistemas de medición, teoría de errores, conocimiento de aparatos e instrumentos de medición así como métodos de verificación de magnitudes, y como aspecto muy importante los tipos de aplicaciones al Control de la Calidad.

Siendo tan común el uso de calibradores con vernier, micrómetros, calibres pasa - no pasa en la industria, se hace necesario que el Inge-niero Mecánico se familiarice con éstos instrumentos, desde lo básico como sus partes principales, principios de operación, hasta saber dónde y cómo aplicarlos.

Considero que este trabajo servirá de guía para alumnos y profesionistas que se interesen en el tema.

Al final se elaborarán una serie de conclusiones y sugerencias derivadas del trabajo de tesis realizado.

## CAPITULO 1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

## 1.1 Definición de Metrología.

Metrología es 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 unida des de medición.

Hoy en día, el propósito básico es verificar las mediciones dimen sionales en la industria manufacturera, con el mínimo de error posible y asegurar que el producto elaborado coincida con las especificaciones indicadas en el plano de diseño, siendo uno de los caminos para lograr éste objetivo, el uso de la Metrología Geométrica Dimensional.

## 1.2 Tipos de Metrología.

Existen varios tipos de Metrología, que se aplican a diferentes - ramas o áreas donde se presenta la Ingeniería, como son:

**Metrología Geométrica Dimensional:** Se aplica a la verificación de magnitudes lineales y angulares, engranes, roscas, superficies, etc.

**Metrología Eléctrica:** Es necesaria para la comprobación de inten- sidad de corriente, caída de voltaje, capacidad de resistencia, etc.

**Metrología Térmica:** Se emplea para la medición de variaciones de- temperatura, cantidad de calor, rendimiento de máquinas térmicas, etc.

**Metrología Química:** Aplicada a la verificación de cantidades de - sustancias, tablas para realizar reacciones, medición de densidades, - etc.

**Metrología Neumática:** Utilizada para la verificación de presión - en recipientes, medición de flujo de aire, etc.

**Metrología Hidráulica:** Se emplea para la medición y verificación- de gasto volumétrico, flujo de masa, velocidad de líquidos, etc.

**Metrología Arquitectónica - Civil:** Utilizada para la obtención de cantidad de material para construcción, medición de cadenamientos, ángulos para pendientes, etc.

### 1.3 Características que debe reunir un laboratorio de Metrología Geométrica.

Los laboratorios o salas de Metrología Geométrica Dimensional deben cumplir ciertos requisitos de instalación, con el objeto de que -- puedan determinarse con la mayor seguridad, mediciones y verificaciones con el mínimo de error posible.

Con la existencia de dimensiones extremadamente pequeñas que deben tomarse en consideración en el proceso de medición y prescindiendo de los errores personales, así como de los inevitables que se presentan en los aparatos e instrumentos de medición, para la instalación y montaje del laboratorio de Metrología Geométrica Dimensional, deben -- cumplirse los siguientes requisitos principales:

**1.3.1 Temperatura de medición.** - Debido a que los productos manufacturados presentaban distinta dimensión al realizar su medición a diferentes temperaturas, la temperatura de trabajo se tuvo que normalizar internacionalmente, para los países adheridos a la I.S.O. ( Organización Internacional de Estandarización ), adoptándose el valor de  $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5$  según la recomendación E1, la cual recibe el nombre de temperatura de referencia. Por lo tanto los aparatos y equipos de medición se encuentran calibrados a ésta temperatura de referencia, conservando ésta misma temperatura para efectos de verificación.

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

**1.3.2 Humedad del aire.** - Este requisito es importante dado que si ésta humedad es excesiva, perjudica a las piezas por medir y a los elementos del equipo de medición, produciendo superficies oxidadas.

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

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

1.3.3 La iluminación.- Cuando se proyecta una instalación de alumbrado la visión del técnico de iluminación debe tener en cuenta que una iluminación defectuosa exige al ojo humano un esfuerzo mayor de trabajo, ocasionando cansancio prematuro, irritación de ojos, dolor de cabeza, y disminución de la agudeza visual. Esta iluminación será mediante tubos fluorescentes, se prevé una iluminación de 300 luxes, lo que permite al operario desarrollar un trabajo en condiciones óptimas que ocasiona menos errores en el proceso de medición, además que éste se efectúa con mayor seguridad y rapidez.

1.3.4 Instalación exenta de vibraciones y polvo.- Un laboratorio de Metrología Geométrica Dimensional debe estar protegido de vibraciones y polvo, pues afectan en primer lugar a los aparatos e instrumentos de medición y por consiguiente a las mediciones efectuadas.

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

1.3.4.2 Otro punto que debe tomarse en cuenta por dos razones importantes, es la introducción de polvo a el laboratorio o local de medición.

1.3.4.2.1 El laboratorio o local de medición debe estar exenta de polvo para que no se depositen partículas sobre las superficies de medición y obtener lecturas libres de error por acumulación de polvo y otras partículas extrañas.

1.3.4.2.2 El organismo humano debe disponer de aire lo más puro posi-

ble, para la respiración de los operarios durante el proceso de medición, en laboratorios o locales de medición con aire acondicionado, se obtiene una circulación de aire puro con un elevado grado de pureza.

1.3.5 Recomendaciones extra.- El piso debe recubrirse con materiales ahulados como el linóleo, 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 apoyarse en ellas, así como también los aparatos de medición que están montados en dichas mesas, no sufran alteraciones en su funcionamiento provocando errores en la medición.

CAPITULO 2 TEORIA BASICA DE LA METROLOGIA  
GEOMETRICA DIMENSIONAL

2.1 Fundamentos de la teoría de medición.

Para llevar a cabo el objetivo de la Metrología Geométrica Dimensional, es indispensable tener presente los conceptos básicos en que se finca la teoría de la medición, empezando por:

2.1.1 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, deben reunirse dos condiciones en el acto de medir y éstas son:

2.1.1.1 Que el patrón usado para la comparación sea conocido y aceptado, en algún sistema de medición.

2.1.1.2 El procedimiento, aparatos e instrumentos empleados para obtener la comparación, deben ser comprobables.

El concepto de medición anteriormente citado y otros que existen, se tiene en común la acción de comparar, por lo que se podría decir -- que " medir significa comparar correctamente ".

2.1.2 Sistemas de medición.- Actualmente, existen 3 sistemas normales de medidas lineales, los cuales son:

2.1.2.1 Sistema Métrico y Sistema Internacional de Unidades ( SI ).-- La unidad fundamental de longitud en el sistema métrico es el " metro" Originalmente se definió la longitud del metro en base a una porción del cuadrante del meridiano terrestre. Más tarde se construyó un patrón prototipo internacional ( Fig. 1.1 ), cuyas características son las siguientes: Es un patrón del tipo de trazos, fabricado de Platino-aleado con 10% de Iridio. La superficie superior de la barra, está pulimentada y en ella van grabados los trazos cuya separación material-

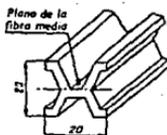


Fig. 1.1

zan a la longitud del metro. También se a definido en función de la -- longitud de onda: " El metro equivale a 1'650,763.73 longitudes de onda de la raya naranja del Kriptón 86, obtenida en el salto del nivel -- energético 2 P10 al 5 D5 excitada a la temperatura del punto triple -- del Nitrógeno ". Y últimamente en función de la luz: " El metro es la longitud de la trayectoria corrida por la luz en el vacío durante un -- lapso de  $\frac{1}{299792458}$  segundo. ( 17a. CGPM - 1983 ) ".

El sistema métrico se intentó normalizar en países donde carecía de aceptación completa, de dicho intento proviene el Systeme International d'Unites, conocido como SI, o sistema internacional de unidades

La unidad fundamental de longitud en el SI es el metro o metre -- en la ortografía internacional común ).

2.1.2.2 Sistema Inglés.- La unidad fundamental de longitud en el sistema inglés es la pulgada.

En la actualidad las medidas métricas predominan en la mayoría de los países industrializados. El sistema inglés todavía tiene un uso -- muy extendido en los Estados Unidos. Sin embargo, a causa de la interdependencia de la comunidad industrial mundial, aún los Estados Unidos está haciendo un cambio paulatino hacia el uso de unidades métricas.

2.1.3 Teoría de los errores.- Al realizar un proceso de medición, no es posible evitar una serie de errores pero sí buscar que éstos sean -- mínimos.

2.1.3.1 Clasificación de errores en un proceso de medición.- Se clasi-

fican en 2 tipos, errores aleatorios y sistemáticos.

2.1.3.1.1 Error aleatorio.- Se originan por causas verdaderamente accidentales y se presentan indistintamente con diversas magnitudes y sentidos.

2.1.3.1.2 Error sistemático.- Son los que obedecen a la presencia de una causa permanente y adquieren siempre igual valor cuando se opera en igualdad de circunstancias, pueden por lo tanto atenuarse o evitarse.

2.1.3.2 Causas de error en un proceso de medición.

2.1.3.2.1 Errores del aparato.

Defectos de construcción.- Los equipos y aparatos de medición llegan a las manos del operador con cierto error, éste se debe a las imperfecciones de maquinado y construcción, ya que es difícil y sumamente costoso construir piezas exactamente iguales, pero sí, se busca que éstas piezas pertenezcan al rango dimensional permisible.

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

- Articulaciones y juegos.
- Defectos de rectitud y forma.
- Peso, concentricidad, e inclinación de contactos.
- Defectos de alineamiento y centrado.

Otras causas de error debidas al aparato, son las deformaciones mecánicas que pueden ser:

- Deformaciones permanentes debidas al desgaste.
- Deformaciones elásticas debidas a: Compresión general, compresión local, flexión y torsión.

Por las razones anteriormente descritas, se recomienda que los aparatos y equipos de medición se verifiquen convenientemente con cierta frecuencia.

fican en 2 tipos, errores aleatorios y sistemáticos.

2.1.3.1.1 Error aleatorio.- Se originan por causas verdaderamente accidentales y se presentan indistintamente con diversas magnitudes y sentidos.

2.1.3.1.2 Error sistemático.- Son los que obedecen a la presencia de una causa permanente y adquieren siempre igual valor cuando se opera en igualdad de circunstancias, pueden por lo tanto atenuarse o evitarse.

2.1.3.2 Causas de error en un proceso de medición.

2.1.3.2.1 Errores del aparato.

**Defectos de construcción.-** Los equipos y aparatos de medición llegan a las manos del operador con cierto error, éste se debe a las imperfecciones de maquinado y construcción, ya que es difícil y sumamente costoso construir piezas exactamente iguales, pero sí, se busca que éstas piezas pertenezcan al rango dimensional permisible.

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

- Articulaciones y juegos.
- Defectos de rectitud y forma.
- Peso, concentricidad, e inclinación de contactos.
- Defectos de alineamiento y centrado.

Otras causas de error debidas al aparato, son las deformaciones mecánicas que pueden ser:

- Deformaciones permanentes debidas al desgaste.
- Deformaciones elásticas debidas a: Compresión general, compresión local, flexión y torsión.

Por las razones anteriormente descritas, se recomienda que los aparatos y equipos de medición se verifiquen convenientemente con cierta frecuencia.

### 2.1.3.2.2 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:

2.1.3.2.2.1 Error de paralaje.- Resulta de la incorrecta posición del operador para observar la lectura que indica el instrumento o aparato, la manera recomendable es que el operador se coloque en posición perpendicular a la escala o carátula donde se aprecia la lectura.

Un ejemplo de la forma correcta e incorrecta de realizar lecturas se muestra en la Fig. 1.2

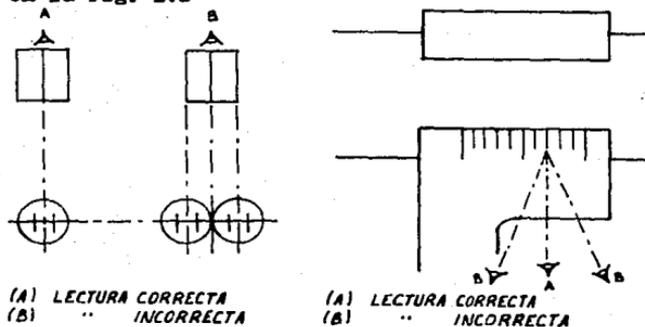


Fig. 1.2

2.1.3.2.2.2 Error de presión.- 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 o instrumento. En la medición propiamente dicha no debe olvidarse que si la acción se efectúa con mayor o menor esfuerzo, se producirá una lectura de medición de valor distinto que dependerá del grado de esfuerzo utilizado.

También se tiene el caso, cuando se utilizan calibres que al suje

tarlos manualmente con una fuerza mayor a la necesaria, la sensibilidad disminuye.

2.1.3.2.2.3 Error de posición.- Se debe a la posición incorrecta de los aparatos o instrumentos a utilizar o también de las piezas a medir. En el proceso de medición de longitudes, los aparatos e instrumentos deberán colocarse perpendicularmente a la superficie cuya dimensión se desea obtener ( Fig. 1.3 ).

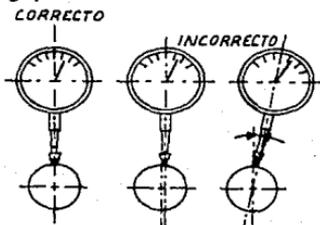


Fig. 1.3

2.1.3.2.3 Error por el medio ambiente.- En todas las mediciones efectuadas, en la construcción de elementos de máquinas de precisión, así como en la verificación de magnitudes; 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 el medio ambiente -- son los siguientes:

- Humedad
- Polvo
- Temperatura

De éstos factores ya se mencionaron anteriormente los 2 primeros, por lo que ahora la atención estará en el factor temperatura.

2.1.3.2.3.1 Error por temperatura.- En el error por temperatura intervienen a su vez los siguientes factores:

2.1.3.2.3.1.1 Variaciones de temperatura en el laboratorio de medicio-

nes.- Una condición importante para las mediciones técnicas, es la con-  
servación de una temperatura uniforme en el local de medición, tanto -  
en la pieza a medir como en el instrumento o aparato a utilizar para -  
dicho efecto. Esta condición debe mantenerse ante todo para mediciones  
absolutas; para mediciones relativas, el valor de su temperatura o su-  
constancia, será de menor influencia en lo que hace referencia a los -  
locales de medición.

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

En las mediciones relativas se debe presentar la misma temperatu-  
ra ( no importando que sea 18, 20, o  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  ), para calibrar los aparatos  
de medición y en la pieza que se desee medir.

En la práctica, es suficiente un local de medición con una dife-  
rencia de temperatura de  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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

Corrección del error de temperatura.

La medida de una longitud hallada a una temperatura distinta a la  
de referencia, debe corregirse para conocer la medida a ésta temperatu-  
ra. 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  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$L_t$  = " 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:

$$\Delta l = \alpha l_1 (\Delta t)$$

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 la ecuación siguiente:

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

donde:

$L'_{20}$  = Longitud real de la pieza a 20 °C.

$L_p$  = " de la pieza medida a la temperatura t.

t = Temperatura de medición.

$\alpha'$  = Coeficiente de dilatación de la pieza.

$\alpha$  = " " " del patrón de referencia

A continuación se muestra una tabla de coeficientes de dilatación térmica para algunos materiales metálicos. Para los aceros de calibres se pueden tomar  $\alpha = 11.5 \times 10^{-6}$  mm / mm °C, mientras no indique otra cosa el fabricante.

Coeficientes de dilatación térmica para materiales metálicos.

Acero suave	10.5 x 10 <sup>-6</sup>	Cobre	16 x 10 <sup>-6</sup>
Acero templado	12 x 10 <sup>-6</sup>	Latón	18 x 10 <sup>-6</sup>
Aluminio	22 x 10 <sup>-6</sup>	Invar	1.3 x 10 <sup>-6</sup>
Bronce	16 a 20 x 10 <sup>-6</sup>	Magnesio	24 x 10 <sup>-6</sup>

Unidades en mm/mm °C.

2.1.3.2.3.1.2 Influencia del calor generado por los rayos solares o -- por la iluminación artificial.- En el proceso de medición, la influencia de la temperatura debida al calor de los rayos solares o de las -- lámparas de alumbrado, dan lugar a inseguridad en las operaciones de -

medición, por lo que se recomienda hacer una distribución adecuada. En la figura 1.4 se observa el comportamiento de los equipos de medición con respecto a las lámparas de alumbrado

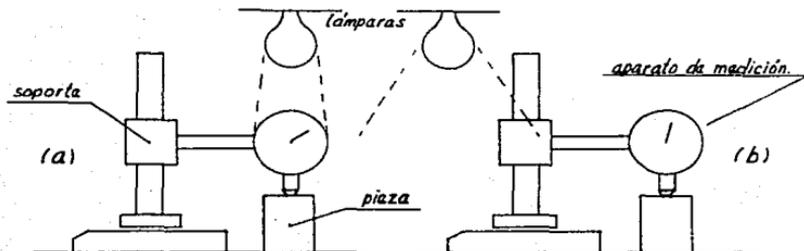


Fig. 1.4

De la Fig. 1.4a el aparato de medida se dilata más que el soporte y la pieza se encontrará " demasiado grande ". Mientras que en 1.4b se dilata más el soporte que el instrumento y la pieza se encontrará " demasiado pequeña ".

2.1.3.2.3.1.3 Temperatura del cuerpo humano.- La temperatura del cuerpo humano juega un papel muy importante en el proceso de medición:

2.1.3.2.3.1.3.1 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 ).

2.1.3.2.3.1.3.2 Cuando se calibra algún aparato o instrumento de medición usando galgas patrón, no se deben sostenerse en la mano demasiado tiempo ( sólo el necesario ). Para mediciones de gran precisión, debe evitarse contacto directo entre operador y los instrumentos de medición usados, por lo que se recomienda el empleo de guantes o algún otro material aislante.

## CAPITULO 3 INSTRUMENTOS Y APARATOS DE MEDICION

## 3.1 Clasificación de los instrumentos y aparatos de medición.

Lineal	Medición directa	Con trazos o divisiones	Metro Regla graduada Calibradores con vernier
		Con tornillo micrométrico	Todo tipo de micrómetros
		Con dimensión fija	Bloques o galgas patrón Galgas de espesores
	Medición indirecta	Comparativa	Comparadores: Mecánicos, ópticos, neumáticos, electromecánicos y proyector de perfiles
		Trigonométrica	Bolas o cilindros Bloques mycil
		Relativa	Niveles de precisión
Angular	Medición directa	Con trazos o divisiones	Transportador simple Goniómetro Escuadra universal
		Con dimensión fija	Escuadras Patrones angulares Calibres pasa - no pasa
	Medición indirecta	Trigonométrica	Falsa escuadra Regla de senos Mesa de senos

3.1.1 Instrumentos y aparatos de medición directa.- Son los instrumentos y aparatos capaces de proporcionar lecturas sobre una escala graduada de manera directa e inmediata, sin necesidad de ajustar a cero o a otro valor cualquiera. Como ejemplos se puede citar a: La regla graduada, todo tipo de calibradores con vernier, todo tipo de micrómetros goniómetro, etc.

3.1.2 Instrumentos y aparatos de medición indirecta.- Son aquellos que para emplearse, es necesario ajustarlos a un cierto valor con la ayuda de un patrón o calibre, las lecturas son en algunos casos valores diferenciales con respecto al valor con que fue ajustado. Algunos instrumentos y aparatos que pertenecen a este grupo son: Reloj comparador de carátula, niveles de precisión, proyector de perfiles, etc. También se incluyen los calibres pasa - no pasa, que son de dimensión fija.

3.1.3 Instrumentos y aparatos de medición según su sistema de funcionamiento.- En todo aparato e instrumento de medición, al utilizarlos, tienen como objetivos principales; medir o verificar magnitudes, por lo que es necesario que posean un sistema de funcionamiento para lograr dichos objetivos. Existen varios sistemas de funcionamiento:

3.1.3.1 Sistema de funcionamiento mecánico: Como por ejemplo: Comparador mecánico de transmisión directa ( engranes y cremallera ).

3.1.3.2 Sistema de funcionamiento óptico: Como lo son el proyector de perfiles, optímetro, etc.

3.1.3.3 Sistema de funcionamiento neumático: Se puede citar a: Calibrador neumático tipo columna, tipo esfera y calibrador anular neumático.

3.1.3.4 Sistema de funcionamiento eléctrico: Se encuentran entre ellos El comparador eléctrico de lectura remota ( control remoto ), máquina para verificar la redondez, etc.

3.1.3.5 Sistema de funcionamiento electrónico: Como son: Palpador in--

ductivo de transmisión directa, palpador inductivo articulado, micrómetros y calibradores con vernier digitales.

3.1.3.6 Sistema de funcionamiento mixto: Son la combinación de los sistemas de funcionamiento anteriores: Electromecánicos, electro neumáticos y neumático - electrónicos.

3.2 Principios de operación del calibrador con vernier y del micrómetro.

3.2.1 El calibrador con vernier o pie de rey.

El calibrador con vernier ( Fig. 3.1 ) conocido también como pie de rey, es un instrumento de medición directa, provisto de una regla graduada y de un cursor auxiliar ( nonio o vernier ).

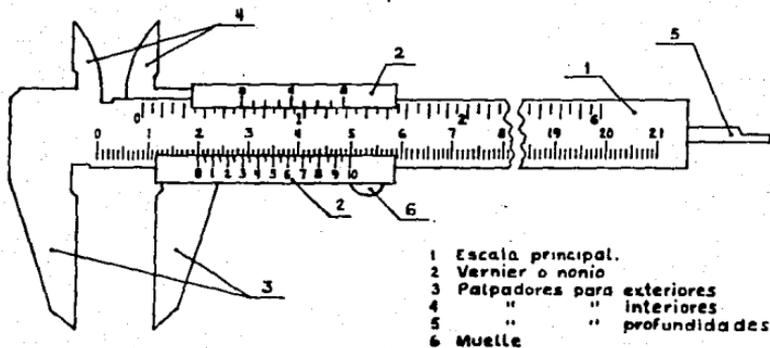


Fig. 3.1 Calibrador con vernier.

3.2.1.1 Principio del vernier o nonio.

El principio en el cual se basa el vernier es el siguiente: Si la magnitud que se mide está dada por un número entero, el origen del vernier indica exactamente este valor sobre la regla. Si en cambio se trata de un número decimal el origen del vernier caerá entre dos entre-

2 trazos de la regla ( Fig. 3.2 ); de esta forma el trazo de la regla situado a la izquierda del origen representa la parte entera, y el trazo del vernier que coincide con un trazo de la regla da, por su posición, la parte decimal; finalmente la lectura total se obtiene por la suma de las partes entera y decimal.

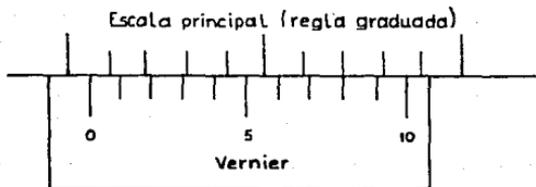


Fig. 3.2 Principio del vernier.

Si se tiene:

$L$  = Longitud del vernier.

$d$  = Distancia entre divisiones de la regla.

$d'$  = " " " del vernier.

$n$  = Número de divisiones del vernier.

$p$  = " " orden del trazo del vernier.

$f$  = Fracción por agregar.

$$\text{Longitud del vernier } L = (n - 1) d \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{Distancia entre divisiones del vernier } d' = d - \frac{d}{n} \dots (3.2)$$

$$\text{Fracción por agregar } f = \frac{pd}{n} \dots\dots\dots (3.3)$$

Ejemplo: Si se tiene un calibrador en el cual la distancia de trazos de la regla es de 1 mm, y el vernier tiene 10 divisiones, determinar  $L$ ,  $d'$ , y  $f$ .

Utilizando ( 3.1 ), ( 3.2 ) y ( 3.3 )

$$L = (n - 1) d = (10 - 1) 1 = 9 \text{ mm}$$

$$d' = d - \frac{d}{n} = 1 - \frac{1}{10} = 1 - 0.1 = 0.9 \text{ mm}$$

Si  $p = 8$  la fracción por agregar será:

$$f = \frac{pd}{n} = \frac{8(1)}{10} = \frac{8}{10} = 0.8 \text{ mm}$$

Para determinar la legibilidad en un calibrador con vernier, se aplica la siguiente fórmula :

$$\text{Legibilidad} = L' = \frac{d}{n} \dots\dots\dots ( 3.4 )$$

Donde:

$L'$  = Legibilidad.

$d$  = Valor mínimo de la regla. ( división mínima )

$n$  = Número de divisiones del vernier.

Del ejemplo y aplicando ( 3.4 )

$$L' = \frac{d}{n} = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ mm}$$

Las principales especificaciones para identificar o adquirir un calibrador con vernier son su capacidad de medida o rango y legibilidad.

### 3.2.1.2 Representación de las diferentes graduaciones de los calibradores con vernier.

Los calibradores con vernier por lo general llevan 2 graduaciones sobre la regla graduada ( llamada también escala principal ), una expresada en el sistema métrico decimal y otra en el sistema inglés, con sus correspondientes nonios.

Los nonios más comunes de los calibradores con vernier son los dispuestos para medir décimas de milímetro, sin embargo son muy usuales los dispuestos para medir veinteavos de milímetro y finalmente se tienen los que pueden apreciar cincuentavos de milímetro.

En el sistema inglés se tienen en 2 opciones; en milésimas de pul

gada y en cientoveintiochoavos de pulgada.

La Fig. 3.3 muestra las diferentes graduaciones de los calibradores con vernier, donde, se indica la legibilidad de los mismos.

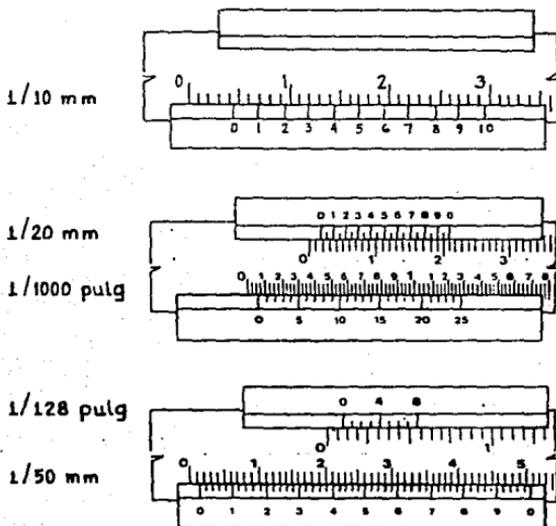


Fig. 3.3 Graduations de los calibradores con vernier.

### 3.2.1.3 Obtención de lecturas empleando el calibrador con vernier.

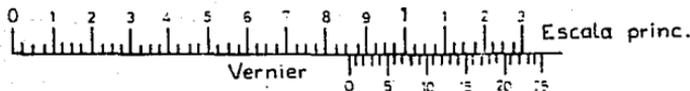
A continuación se muestran ejemplos de diferentes legibilidades y lecturas.



$$\text{Legibilidad} = \frac{1}{20} = 0.05 \text{ mm}$$

Lectura inmediata = 3 mm ; fracción por agregar = 0.20 mm

Lectura total = 3.20 mm



$$\text{Legibilidad} = \frac{0.025''}{25} = 0.001''$$

Lectura inmediata = 0.850'' ; fracción por agregar = 0.006''

Lectura total = 0.856''



$$\text{Legibilidad} = \frac{1''}{16} = \frac{1''}{128}$$

Lectura inmediata =  $\frac{2''}{16}$  ; fracción por agregar =  $\frac{7''}{128}$

Lectura total =  $\frac{23''}{128}$

#### 3.2.1.4 Los principales errores en los calibradores con vernier.

Al efectuar mediciones con los calibradores con vernier, se corre el riesgo de que se presenten errores; siendo los principales:

3.2.1.4.1 Error de origen.- Es cuando el cero del vernier no coincide con el cero de la regla ( escala principal ) que resulta de cerrar los palpadores del calibrador con vernier, éste error se debe al desgaste-natural, alabeo o curvaturas de los palpadores. Mostrándose este error en la Fig. 3.4

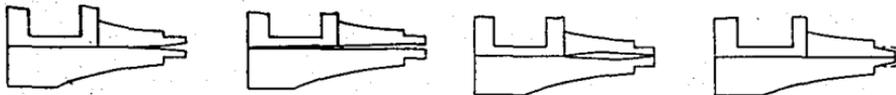


Fig. 3.4 Error de origen en un calibrador con vernier.

3.2.1.4.2 Error del instrumento.- Es debido a las imperfecciones de construcción y maquinado.

3.2.1.4.3 Error de paralaje.- Este tipo de error se describió en el capítulo 2 ( En 2.1.3.2.1 ).

3.2.1.4.4 Error de posición.- Se presenta cuando el calibrador con vernier no está bien posicionado en la pieza a medir. Como se aprecia en la Fig. 3.5

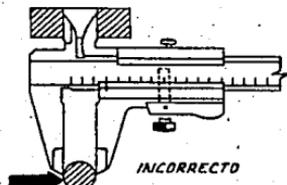


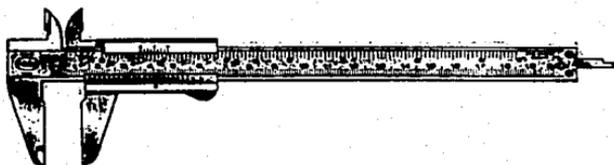
Fig. 3.5 Error de posición en un calibrador con vernier.

3.2.1.4.5 Error por el medio ambiente.- Son producidos por fenómenos como: La humedad, la temperatura y el polvo.

3.2.1.4.6 Error de aproximaciones.- Es debido a la no coincidencia perfecta de los trazos, entre la regla y el nonio o vernier.

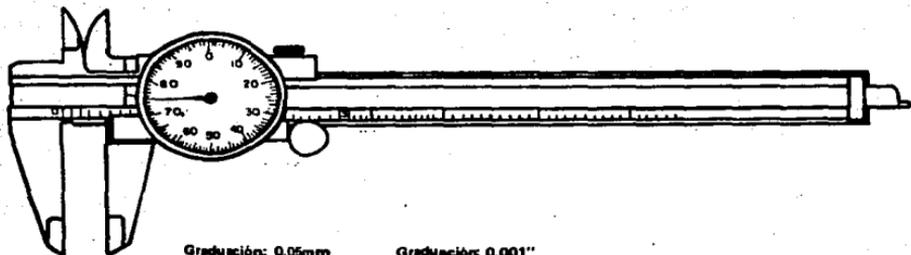
### 3.2.1.5 Tipos de calibradores con vernier.

En el mercado existen varios tipos y modelos de calibradores con vernier, acoplándose a las necesidades de medición. A continuación se ilustran algunos de ellos, acompañados de especificaciones comunes.



Rango	Vernier
150mm	0.05mm
6" x 150mm	1/128" x 0.05mm
6" x 150mm	.001" x 0.02mm
6" x 6"	1/128" x .001"
150mm	0.02mm
150mm	0.05mm
6" x 150mm	1/128" x 0.05mm
6" x 150mm	.001" x 0.02mm
6" x 6"	1/128" x .001"

Fig. 3.6 Tipo universal ( Conocido también como Mauser )



Graduación: 0.05mm

Rango	Rev.
100mm	5mm
150mm	5mm
200mm	5mm
300mm	5mm
150mm	5mm

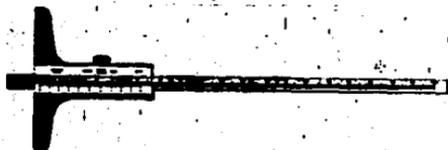
Graduación: 0.001"

Rango	Rev.
4"	.2"
6"	.2"
8"	.2"
12"	.2"
6"	.2"

Graduación: 0.02mm

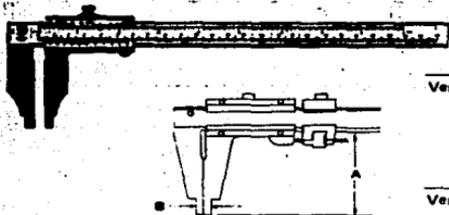
Rango	Rev.
150mm	2mm
200mm	2mm
300mm	2mm

Fig. 3.7 Tipo de carátula o cuadrante.



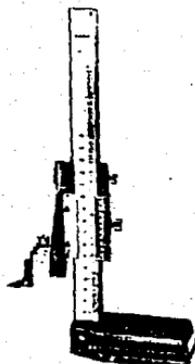
Rango	Graduación
Con ajuste fino.	
150mm	0.02mm
200mm	0.02mm
300mm	0.02mm
6"	.001"
8"	.001"
12"	.001"
Sin ajuste fino.	
150mm	0.05mm
200mm	0.05mm
300mm	0.05mm

Fig. 3.8 Tipo de profundidad.



Rango	A	B
Vernier escala: 0.02mmx.001"		
300mmx12"	75mm	.3"
450mmx18"	100mm	.5"
600mmx24"	100mm	.5"
1000mmx40"	140mm	1"
1500mmx60"	180mm	1"
2000mmx80"	180mm	1"
Vernier escala: 1/128"x0.05mm		
8"x200mm	sin ajuste fino	60mm
		10mm

Fig. 3.9 Tipo de tornero.



- Con trazador de carburo
- Con ajuste fino
- Graduación: 0.02mm (.001")
- Escala ajustable
- Base de hierro fundido

Rango	Peso	Base
12" x 300mm	3 kg	80x130mm
18" x 450mm	3.1 kg	80x130mm
18"	3.1 kg	80x130mm
24" x 600mm	7.3 kg	100x180mm
40" x 1000mm	20 kg	150x250mm

Fig. 3.10 Tipo de alturas.

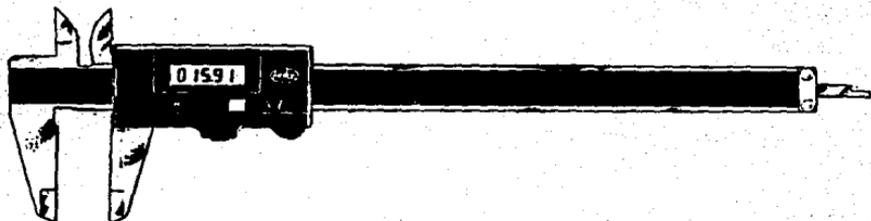


Fig. 3.11 Tipo universal digital.

### 3.2.2 El micrómetro

El micrómetro es un instrumento de medición directa, que se utiliza para medir con una precisión de centésimas, y milésimas de milímetro en el sistema métrico decimal. Para el sistema inglés lo más común es tener micrómetros que poseen, una milésima de pulgada de legibilidad, los hay con una diezmilésima de pulgada ( de legibilidad ).

Se le conoce también como tornillo micrométrico o Pálmer, éste úl-

timo en honor a su inventor.

### 3.2.2.1 El principio de operación del micrómetro.

Se basa en que si un tornillo montado en una tuerca fija se hace girar, el desplazamiento del tornillo en el sentido de su longitud es proporcional al giro dado. Por ejemplo; Si el tornillo ( 1 ) de la Fig. 3.12 se hace girar dentro de la tuerca fija ( 2 ), al dar una vuelta completa en el sentido de la flecha a, el tornillo avanza en el sentido de la flecha b una longitud igual al paso de la rosca; si se dan 2 vueltas avanza una longitud igual a 2 veces el paso; si se da media vuelta avanza medio paso, y si se da un cincuentavo o una centésima de vuelta el extremo avanzará un cincuentavo o una centésima de paso respectivamente.

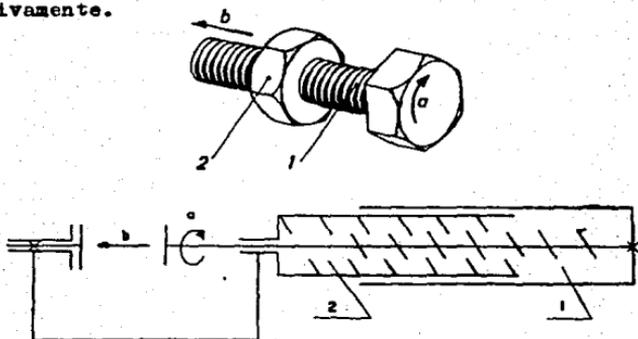


Fig. 3.12 Principio de operación del micrómetro: En 2 formas

Por ejemplo; si el tornillo se escoge de un paso de 0.5 mm ( medio milímetro ) y en la cabeza se dispone una escala a todo alrededor dividida en 50 partes iguales para poder medir cincuentavos de vuelta. Se podrán medir desplazamientos de:

$$\frac{0.5}{50} = 0.01 \text{ mm ( una centésima de milímetro )}$$

### 3.2.2.2 Composición del micrómetro o p almer.

Un micrómetro tipo est andar ( Fig. 3.13 ) está fabricado de acero tratado y estabilizado, sus partes principales que lo constituyen son:

3.2.2.2.1 Cuerpo, estribo u horquilla en forma de " C " : Diseñado así para resistir las deformaciones por flexión.

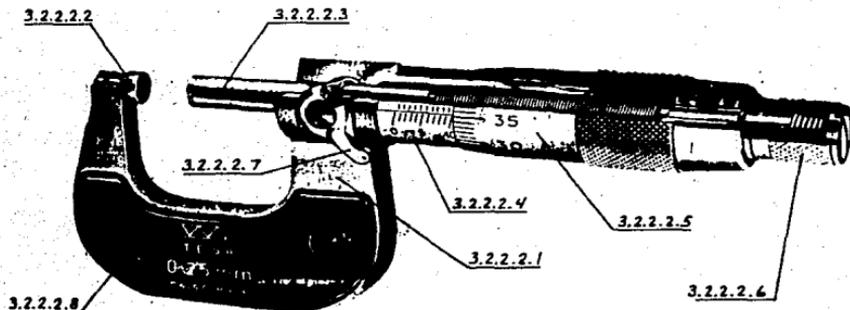


Fig. 3.13 Partes principales de un micrómetro.

3.2.2.2.2 Palpador o tope fijo: Comúnmente son de carburo ( esto es para evitar el desgaste), de superficie plana y lapeada y que sirve de origen de cota.

3.2.2.2.3 Palpador móvil o vástago: También fabricado de carburo, igualmente de superficie plana y lapeada, está constituido por un tornillo de acero y estabilizado, tiene la rosca rectificada con una tolerancia en el paso de  $\pm 1\mu$  ( 0.001 mm ).

3.2.2.2.4 Escala principal o cilíndrica graduada: Es la que determina la lectura.

3.2.2.2.5 Tambor graduado: Es el que auxilia para lograr la lectura.

3.2.2.2.6 Bot n o matraca de fricción: Arrastra el tornillo de giro, -

lo que permite limitar la presión de contacto de los palpadores de medición sobre la pieza, con un valor constante del orden de 1 kg.

3.2.2.2.7 Palanca o tuerca de fijación: Permite fijar el palpador móvil, de manera que evite cualquier desplazamiento axial del tornillo - micrométrico y por lo tanto un error en la medida. En algunos micrómetros en lugar de palanca, cuentan con un anillo, que realiza la misma función.

3.2.2.2.8 Recubrimiento: En algunos modelos tienen un recubrimiento de aislante térmico, que sirve para impedir la transferencia del calor de las manos del operador al micrómetro.

### 3.2.2.3 Determinación de la legibilidad en un micrómetro.

Para determinar la legibilidad de un micrómetro se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Legibilidad} = \frac{\text{Valor mínimo de la escala principal o cilíndrica}}{\text{Número de divisiones del tambor}}$$

Ejemplo: En un micrómetro en el cual la escala principal se tiene en 0.025 ", y el tambor se divide en 25 partes; determinar su legibilidad.

Conocidos los valores, se sustituyen en la fórmula anterior.

Valor mínimo de la escala principal = 0.025 "

Número de divisiones del tambor = 25

$$\text{Legibilidad} = \frac{0.025}{25} = 0.001 "$$

### 3.2.2.4 Obtención de lecturas empleando el micrómetro.

Para obtener lecturas en los 2 sistemas de medición se recomienda seguir los siguientes pasos:

3.2.2.4.1 Se observa el número de divisiones que sean visibles en la -

escala principal o cilíndrica.

3.2.2.4.2 Si el cero del tambor no coincide con la división de la escala principal, es necesario observar cual división del tambor coincide con la línea horizontal de la escala principal.

3.2.2.4.3 Finalmente se adicionan las lecturas de los 2 pasos anteriores siempre y cuando se cumpla lo indicado en el paso 3.2.2.4.2

En caso contrario la lectura será lo observado en la escala principal. En la Fig. 3.14 se ejemplifica una obtención de lecturas en los sistemas métrico e inglés, empleando el micrómetro, mostrándose las diferentes graduaciones en las escalas principal y del tambor.

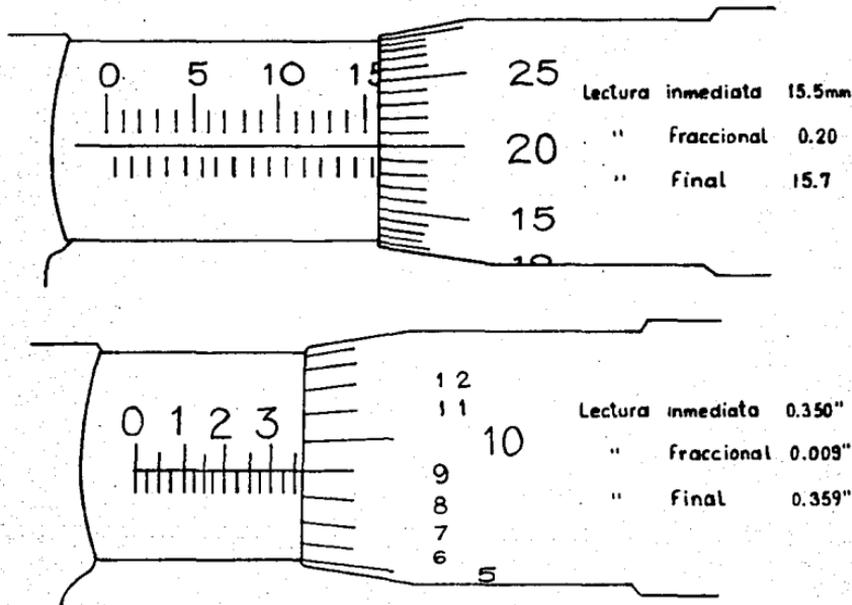


Fig. 3.14 Obtención de lecturas empleando el micrómetro.

### 3.2.2.5 El micrómetro con vernier.

Llamado también micrómetro de diezmilésimas se emplea para realizar lecturas precisamente de diezmilésimas de pulgada.

Está constituido de igual forma que los micrómetros ordinarios, lo único adicional, es una escala vernier la cual consiste en 10 líneas — paralelas a la línea horizontal de la escala principal o cilíndrica — graduada y está localizada arriba de ésta última. Como se aprecia en — Fig. 3.15

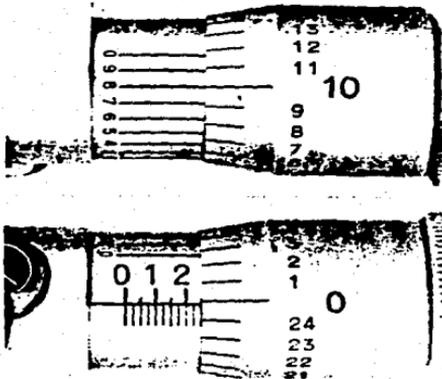


Fig. 3.15 Micrómetro con vernier o de diezmilésimas.

#### 3.2.2.5.1 Obtención de lecturas mediante el uso del micrómetro con vernier o de diezmilésimas.

Se lee de igual forma que un micrómetro ordinario pero especial atención en la escala vernier, siguiendo los tres pasos siguientes:

3.2.2.5.1.1 Se observa la milésima más próxima como en un micrómetro ordinario.

3.2.2.5.1.2 Se encuentra la línea de la escala vernier que coincida — con un trazo o graduación del tambor, el valor de esta línea coincidente de la escala vernier es el valor en diezmilésimas.

3.2.2.5.1.3 Por último se realiza la suma de los valores determinados en los 2 pasos anteriores.

En la Fig. 3.16 se muestra un ejemplo de una lectura obtenida, - empleando un micrómetro con vernier.

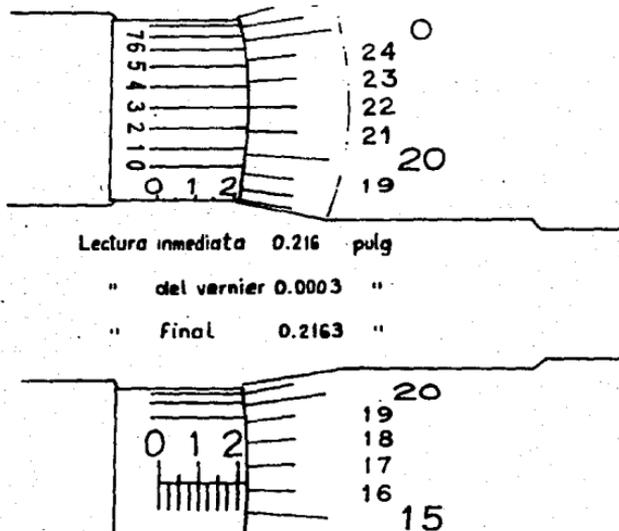


Fig. 3.16 Lectura en un micrómetro con vernier.

### 3.2.2.6 Recomendaciones importantes en el uso de los micrómetros.

Los micrómetros son instrumentos de precisión, y por este motivo resultan delicados y caros, por lo tanto para ampliar su vida de uso se proporcionan las siguientes recomendaciones.

3.2.2.6.1 Situar los micrómetros sobre una mesa o banco de trabajo, - encima de alguna superficie blanda, y tenerlos separados de otros instrumentos.

3.2.2.6.2 Antes de utilizar el micrómetro, realizar su calibración --

mediante patrones.

3.2.2.6.3 Los micrómetros no deben emplearse más que para la medición de cotas correspondientes a superficies trabajadas con una pasada de acabado o rectificado.

3.2.2.6.4 Limpiar de polvo, aceite e impurezas tanto la pieza que se va a medir como los palpadores del micrómetro.

3.2.2.6.5 Utilizar el micrómetro solamente para aquellas medidas en que sea imprescindible gran exactitud, que proporciona tal instrumento

3.2.2.6.6 No realizar nunca esfuerzo alguno para medir, sino que debe medirse con tacto.

3.2.2.6.7 No bloquear el micrómetro a una medida fija, tampoco utilizarlo como si fuera un calibre. Ya que esto produciría un desgaste prematuro en los palpadores.

3.2.2.6.8 En el transcurso o al término de una medición, no atornillar el micrómetro dando vueltas a la horquilla.

3.2.2.6.9 Limpiar el micrómetro después de utilizarlo, y engrasar con una capa fina de vaselina especial en las caras de los palpadores.

3.2.2.7 Las principales causas de error en un micrómetro.

Las principales causas de error que se presentan en un micrómetro son las siguientes:

3.2.2.7.1 Error de origen.- Es cuando los palpadores se encuentran en contacto, y el cero del tambor no coincide con el de la escala principal o cilíndrica.

3.2.2.7.2 Error del paso del tornillo micrométrico.- Se presenta cuando el desplazamiento del palpador móvil no corresponde al valor leído en el instrumento.

3.2.2.7.3 Error de aproximaciones.- Se debe a la no coincidencia per-

fecta de los trazos o graduaciones del micrómetro.

3.2.2.7.4 Falta de paralelismo en los palpadores.- Es cuando existen defectos de forma como son: La inclinación de los palpadores, desgaste de los mismos, lo que proporciona que el plano no sea perpendicular al eje de medición.

3.2.2.7.5 Falta de planitud en los palpadores.- Es cuando las superficies ( caras ) de los palpadores se encuentran en mal estado, que sean cóncavas, convexas, abultadas, etc.

3.2.2.8 Verificación de la exactitud y de la planitud de los palpadores de un micrómetro.

La confiabilidad con que las mediciones son efectuadas en salas o laboratorios de Metrología, depende en gran parte de la exactitud del instrumento de medición utilizado.

En el micrómetro se obtienen resultados muy confiables a lecturas de milésimas e incluso de diezmilésimas pero para que en realidad se confie en sus lecturas, es necesaria la verificación o calibración del mismo.

Existen procedimientos para verificar la exactitud, planitud y paralelismo de los palpadores de un micrómetro, y que se describen a continuación:

3.2.2.8.1 Verificación de la lectura cero.- Se limpian perfectamente los palpadores, se cierra el palpador móvil lentamente hasta hacer contacto con el tope fijo, es recomendable utilizar el botón ( matraca ) de fricción para efectuar esta operación, se tiene que observar que la lectura indique cero, esto es que la línea horizontal de la escala principal coincida con la línea cero del tambor. Como se ve en la Fig.

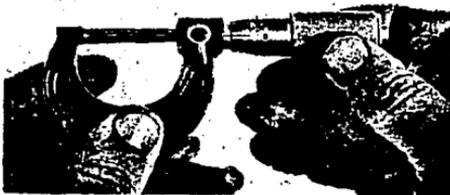


Fig. 3.17 Verificación de la lectura cero.

En caso de que no suceda la lectura cero del micrómetro. La calibración se realiza de 2 formas:

3.2.2.8.1.1 Con el palpador fijo, cuando éste es regulable, ajustándose hasta que las líneas ( de la escala principal y tambor ) coincidan en cero.

3.2.2.8.1.2 Haciendo girar ligeramente la escala principal o cilíndrica por medio de una llave especial ( Fig. 3.18 ), que posee el micrómetro para este fin. Es muy importante seguir las instrucciones del fabricante al realizar esta operación.

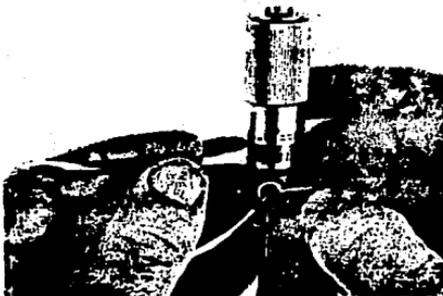


Fig. 3.18 Calibración de la línea cero con llave especial

3.2.2.8.2 Verificación de la planitud y el paralelismo de los palpadores del micrómetro.- Para realizar tal verificación se emplean unos --

discos llamados planos ópticos ( Fig. 3.19 ) y una lámpara de luz monocromática. Al método de dicha verificación se le conoce como " de las franjas de interferencia o anillos de Newton " .



Fig. 3.19 Planos ópticos ( en forma de disco )

### 3.2.2.8.2.1 Método de las franjas de interferencia o anillos de Newton

Se utiliza una lámpara de luz monocromática ( de helio o sodio ) - cuya longitud de onda es de  $0.00058928 \text{ mm}$  y un plano óptico ( en forma de disco ).

Se coloca el plano óptico sobre la superficie del palpador del mi-crómetro, la luz de la lámpara monocromática una vez reflejada en la - superficie del palpador vuelve a través del plano óptico, Observándose el fenómeno de interferencia, lo que genera una serie de franjas que - contienen diferentes formas, dependiendo de la superficie en cuestión - si es plana o no. En la Fig. 3.20 se aprecian algunas formas. Es importante saber que por el efecto de interferencia únicamente se utiliza - la mitad de la longitud de onda, siendo por lo tanto  $0.00029464 \text{ mm}$  la medida de separación de las franjas de interferencia.

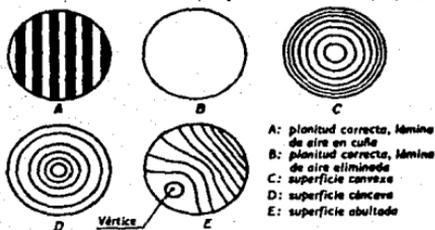


Fig. 3.20 Formas de las franjas de interferencia.

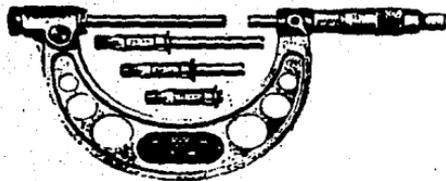
## 3.2.2.9 Tipos de micrómetros.

Los diferentes tipos de micrómetros empleados en salas o laboratorios de Metrología, dependen de la geometría de la pieza a medir. Y -- los hay para medir exteriores, interiores, profundidades y para usos especiales. A continuación se ilustran algunos modelos de los tipos de micrómetros anteriormente mencionados.

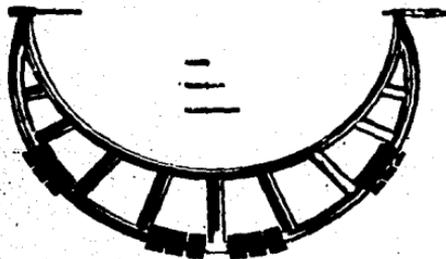


Fig. 3.21 Micrómetro para exteriores.

Rango	Graduación	Graduación
0- 25mm	0.01mm	0.001mm
25- 50mm	0.01mm	0.001mm
50- 75mm	0.01mm	
75-100mm	0.01mm	
0- 25mm	0.01mm	0.001mm
25- 50mm	0.01mm	
0-1"	.001"	.0001"
1-2"	.001"	.0001"
0-1"		.0001"
1-2"		.0001"



- Con Juntas de carburo
- Graduación: 0.01 mm (.001")
- Con Barras Patrón
- Entrague de matraca



Rango	No. topes
300-400mm	4 pzas.
400-500mm	4 pzas.
500-600mm	4 pzas.
600-700mm	4 pzas.
700-800mm	4 pzas.
800-900mm	4 pzas.
900-1000mm	4 pzas.
12-18"	6 pzas.
18-24"	6 pzas.
24-30"	6 pzas.
30-36"	6 pzas.
36-42"	6 pzas.
12-16"	4 pzas.
16-20"	4 pzas.
20-24"	4 pzas.
24-28"	4 pzas.
28-32"	4 pzas.
32-36"	4 pzas.
36-40"	4 pzas.

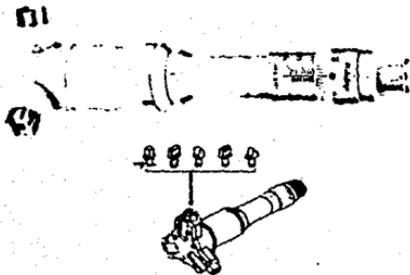
Fig. 3.22 Micrómetro para ext. con topes intercambiables.

- Graduación: 0.01mm (.001")
- Con puntas de carburo
- Puntas de medición semi-esféricas
- Embrague de matraca



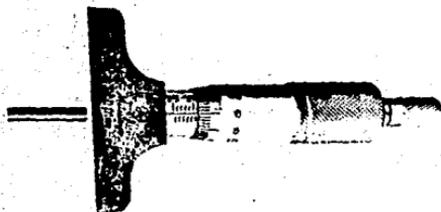
Rango (mm)	Rango Pulg.
5-25	1/8-1
5-30	2-1.2
25-50	1-2
50-75	2-3
75-100	3-4
100-125	4-5
125-150	5-6
150-175	6-7
175-200	7-8

Fig. 3.23 Micrómetro para interiores.



Rango	Graduación	
	Tambor	Digital
6-8mm	0.001mm	
8-10mm	0.001mm	
10-12mm	0.001mm	
6-8mm	0.001mm	0.01mm
8-10mm	0.001mm	0.01mm
10-12mm	0.001mm	0.01mm
.275-.35"	.0001"	
.35-.425"	.0001"	
.425-.5"	.0001"	
.275-.35"	.0001"	.001"
.35-.425"	.0001"	.001"
.425-.5"	.0001"	.001"

Fig. 3.24 Micrómetro para int. ( Holtest )



- Vástago de medición templado y micro-pulido
- Diámetro de vástago 4 mm. (.157")
- Graduación: 0.01mm (.001")
- Con freno
- Embrague de matraca

Rango	Base	Rango	Base
0-25mm	60mm	0-1"	2.5"
0-25mm	100mm	0-1"	4"

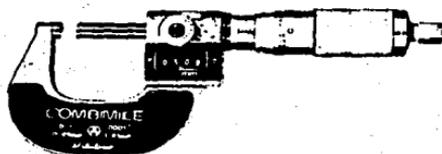
Fig. 3.25 Micrómetro para profundidades.



Fig. 3.26 Micrómetro para uso especial.  
( para rebordes de envases de lata )

- Rango de Medición de 0-13 mm. (0-5")
- Graduación: 0.01mm (.001")

Profundidad	NOTA
5mm (.2")	Hecho de acero inoxidable Para lata de aluminio Para lata de spray
5mm (.2")	
---	



Capacidad	Graduación	Capacidad	Graduación
0- 25mm	0.01mm	0- 1"	.001"
25- 50mm	0.01mm	1- 2"	.001"
50- 75mm	0.01mm	2- 3"	.001"
75- 100mm	0.01mm	3- 4"	.001"
100- 125mm	0.01mm	4- 5"	.001"
125- 150mm	0.01mm	5- 6"	.001"
150- 175mm	0.01mm	6- 7"	.001"
175- 200mm	0.01mm	7- 8"	.001"
200- 225mm	0.01mm	8- 9"	.001"
225- 250mm	0.01mm	9-10"	.001"
250- 275mm	0.01mm	10-11"	.001"
275- 300mm	0.01mm	11-12"	.001"
300- 325mm	0.01mm	12-13"	.001"
325- 350mm	0.01mm	13-14"	.001"
975-1000mm	0.01mm	39-40"	.001"

Fig. 3.27 Micrómetro para ext. digital.

### 3.3 Patrones.

#### 3.3.1 Generalidades.

Los patrones son objetos que materializan una unidad o magnitud determinada con el mayor grado de precisión posible y con la máxima inalterabilidad. En el presente trabajo de tesis, que se encauza a la Metrología Geométrica Dimensional se verán los patrones de longitud; éstos materializan unidades como el metro y la yarda, los cuales determinan un número entero o fracciones de milímetros y pulgadas. En la industria son empleados en algunos talleres, salas y laboratorios de Metrología Geométrica Dimensional.

#### 3.3.2 Clasificación de los patrones.

Se clasifican en forma general por 2 aspectos:

## Clasificación de los patrones.

	} Patrón prototipo internacional	
Por el grado de precisión		" primario
		" secundario
	" de taller	
	} Patrón de trazos	
Por la forma de materializar la longitud que representan.		" " caras paralelas
		" " extremos esféricos
		" cilíndrico
	" de ángulos	

## 3.3.3 Descripción de la clasificación de los patrones.

3.3.3.1 Patrón prototipo internacional.- El patrón prototipo internacional y los patrones primarios, son patrones de trazos de longitud nominal de 1 m a  $^{\circ}\text{C}$  su forma es la que se muestra en la Fig. 3.28 la cual posee una sección en " X ", con la cara grabada situada en la línea neutra para evitar variación de longitud debido a una flexión eventual. Está construido de Platino iridiado, con 10% de Iridio.



Fig. 3.28 Metro prototipo internacional

Los trazos están grabados sobre una superficie con pulido a espejo teniendo 0.004 mm de ancho.

Una serie de 31 patrones de estas características fue construida y aquel de ellos cuya longitud a cero grados centígrados era la más -- próxima al metro de los archivos de Junio de 1779, fue seleccionado como prototipo internacional.

3.3.3.2 Patrón primario.- De los 30 patrones restantes mencionados anteriormente, cada uno de los cuales no difería del patrón prototipo en más de 0.003 mm fueron repartidos entre los países adheridos a la Convención del metro.

3.3.3.3 Patrón secundario.- Los patrones secundarios se construyen a partir del patrón primario nacional, para las necesidades de las oficinas oficiales de Metrología y para empresas fabricantes de aparatos e instrumentos de precisión.

3.3.3.4 Patrón de taller.- Son aquellos utilizados solamente para la verificación de los instrumentos de medición.

Los más conocidos son del tipo de topes o superficies planas de referencia, una de sus dimensiones materializa la cota nominal grabada en ellos, con una aproximación variable dependiendo del tipo y la cota misma que por lo general es del orden de una micra  $\mu$  ( 0.001 mm ).

Para diferenciarlos de otros instrumentos de medida debido a su gran similitud, es que poseen un alto grado de precisión, y sobre todo el uso que se hace de ellos al inicio mencionado.

Nunca se les debe emplear para la medición directa de piezas.

3.3.3.5 Patrón de trazos.- Se caracterizan en que su longitud queda de terminada por la distancia entre los trazos sobre una superficie plana por ejemplo el metro patrón.

3.3.3.6 Patrón de caras paralelas.- También conocidos como bloques pa-

trón o calgas Johansson, su longitud de éstos queda determinada por la distancia entre 2 superficies extremadamente planas y paralelas la cual se encuentra grabada en el bloque.

Estos bloques se obtienen por piezas separadas o en juegos ( Fig. 3.29 ). Son fabricados con aceros aleados especiales, para mantener la estabilidad necesaria y asegurar una larga duración.



Fig. 3.29 Bloque patrón: Individuales y en juego.

Los grados en que se fabrican los bloques patrón son: El grado AA ( de laboratorio ), el grado A+ ( de inspección ) y los grados B y C ( de taller ), actualmente los más utilizados son los de grado AA y A+, los de grado B y C ya no se usan, por el hecho de que están fuera de tolerancia para los trabajos de precisión rigurosa. En las tablas III.1 y III.2 se observan las tolerancias de longitud de los grados anteriormente mencionados.

Métrico Micras		Grado			
Tamaño (mm)	AA	A	B	C	
hasta 25 mm	±0.05	±0.10	±0.20	±0.40	
25 - 30	±0.10	±0.15	±0.32	±0.75	
30 - 40	±0.10	±0.15	±0.35	±0.80	
40 - 50	±0.10	±0.18	±0.40	±0.80	
50 - 60	±0.15	±0.20	±0.45	±1.00	
60 - 70	±0.15	±0.22	±0.50	±1.10	
70 - 80	±0.15	±0.24	±0.55	±1.20	
80 - 90	±0.20	±0.26	±0.60	±1.30	
90 - 100	±0.20	±0.28	±0.68	±1.40	
100 - 125	±0.20	±0.80	±1.00	±2.00	
125 - 150	±0.80	±1.20	±2.40		
150 - 175	±0.70	±1.40	±2.80		
175 - 200	±0.80	±1.60	±3.20		
200 - 250	±1.0	±2.00	±4.00		
250 - 300	±1.2	±2.40	±4.80		
300 - 400	±1.6	±3.20	±6.40		
400 - 500	±2.0	±4.00	±8.00		

Tabla III.1

Inglés Milionésimas		Grado			
Tamaño	AA	A+	A	B	
Hasta 1"	+2 -2	+4 -4	+8 -8	+10 -10	
2"	+4 -4	+8 -8	+16 -16	+20 -20	
3"	+8 -8	+10 -10	+20 -20	+18 -18	
4"	+8 -8	+12 -12	+24 -24	+20 -20	

Calibrados a 20°C (68° Fahrenheit). Coeficiente de expansión térmica  $11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  ( $6.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$ ).

Tabla III.2

Los juegos de bloques métricos contienen piezas cuyo espesor varía de 0.001 mm ( escalonados ) a 100 mm en la Tabla III.3 se muestran las características más importantes de uno de estos juegos.

Piezas/Juego	Grado	Bloques en Juego Escalonados		
112	AA	1 Pza.	2.0005mm	0.001mm 0.01mm 0.5mm 25mm
	A	8 Pzas.	2.001 - 2.009mm	
	B	49 Pzas.	2.01 - 2.49mm	
	C	49 Pzas.	0.5 - 24.5mm	
		4 Pzas.	25 - 100mm	
	1			
	2			
	3			

Tabla III.3

En los juegos de bloques con medidas inglesas cuentan con piezas de espesores que varían de 0.001 pulg. ( escalonados ) a 4 pulg. en la Tabla III.4 se proporcionan características de uno de estos juegos.

Piezas/Juego	Grado	Bloques en Juego Escalonados		
82	1 (AA)	1 Pza.	.10005"	.001" .001" .05" 1"
	2 (A)	8 Pzas.	.1001 - .1009"	
	3 (AB)	49 Pzas.	.101 - .149"	
	B	19 Pzas.	.05 - .950"	
		4 Pzas.	1 - 4"	

Tabla III.4

NOTA: Su utilización de los bloques patrón y otros aspectos de ellos se describirán en 3.3.4

3.3.3.7 Patrón de extremos esféricos.- Son los que su longitud está definida por el diámetro de una superficie esférica, tiene la forma de cilindro de 12 mm de diámetro, con 2 casquetes esféricos en sus extremos que corresponden a una misma esfera y su centro se encuentra en el eje del cilindro. La precisión es del orden de  $\pm 0.5\mu$  a  $8\mu$  dependiendo del empleo dado y su longitud nominal. Su forma esférica permite una ligera inclinación del patrón entre 2 planos o superficies paralelos, sin afectar la cota ( Fig. 3.30 ).

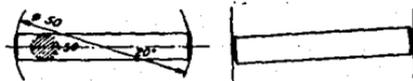


Fig. 3.30 Patrón de extremos esféricos.

Los juegos de bloques métricos contienen piezas cuyo espesor varía de 0.001 mm ( escalonados ) a 100 mm en la Tabla III.3 se muestran las características más importantes de uno de estos juegos.

Piezas/Juego	Grado	Bloques en Juego Escalonados		
112	AA	1 Pza. 9 Pzas. 49 Pzas. 49 Pzas.	2.0005mm 2.001 - 2.009mm 2.01 - 2.49mm 0.5 - 24.5mm	0.001mm 0.01mm 0.5mm 25mm
	A			
	B			
	C			
	1	2	3	

Tabla III.3

En los juegos de bloques con medidas inglesas cuentan con piezas de espesores que varían de 0.001 pulg. ( escalonados ) a 4 pulg. en la Tabla III.4 se proporcionan características de uno de estos juegos.

Piezas/Juego	Grado	Bloques en Juego Escalonados		
82	1 (AA)	1 Pza. 9 Pzas. 49 Pzas. 49 Pzas.	.10005" .1001 - .1009" .101 - .149" .05 - .950"	.001" .01" .05" 1"
	2 (A+)			
	3 (ABB)			
	B			
	1	2	3	

Tabla III.4

NOTA: Su utilización de los bloques patrón y otros aspectos de ellos se describirán en 3.3.4

3.3.3.7 Patrón de extremos esféricos.- Son los que su longitud está de finida por el diámetro de una superficie esférica, tiene la forma de cilindro de 12 mm de diámetro, con 2 casquetes esféricos en sus extremos que corresponden a una misma esfera y su centro se encuentra en el eje del cilindro. La precisión es del orden de  $\pm 0.5 \mu$  a  $8 \mu$  dependiendo del empleo dado y su longitud nominal. Su forma esférica permite una ligera inclinación del patrón entre 2 planos o superficies paralelos, sin afectar la cota ( Fig. 3.30 ).

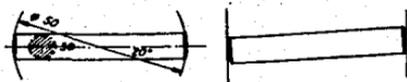


Fig. 3.30 Patrón de extremos esféricos.

3.3.3.8 Patrón cilíndrico.- Son los que la longitud queda determinada por el diámetro de una superficie cilíndrica "llena o hueca". Existen varios tipos de patrones cilíndricos los cuales son:

3.3.3.8.1 Tampón patrón.- Su forma es un cilindro ( Fig. 3.31 ) cuyo diámetro, materializa la cota nominal del patrón.

Es importante diferenciarlos de los calibres de tolerancia ( pasa - no pasa ), lo cual consiste en que éstos últimos no tienen una dimensión definida, mientras que los patrones sí cuentan con una medida determinada ( cota nominal ) con gran precisión.



Fig. 3.31 Tampón patrón o normal

3.3.3.8.2 Disco patrón o de referencia.- Es idéntico en principio al tampón patrón, el disco posee un mango amovible ( Fig. 3.32 )



Fig. 3.32 Disco patrón o de referencia.

3.3.3.8.3 Anillo patrón o normal.- La cota nominal está materializada por el diámetro interior ( Fig. 3.33 ), el exterior, moleteado, facilita el manejo del anillo.

No confundirlos con los calibres de anillo de tolerancias ( pasa - no pasa ).



Fig. 3.33 Anillo patrón o normal.

3.3.3.9 Patrón de ángulos.- Son semejantes a los bloques patrón, generalmente vienen en juegos de 30 piezas con las cuales se pueden obtener ángulos, mediante la adición y sustracción ( Fig. 3.33 Bis ) de sus valores grabados en ellas.

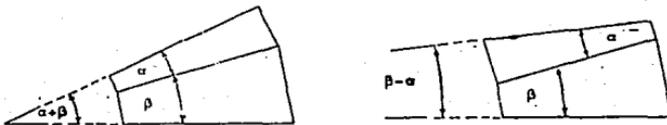


Fig. 3.33 Bis Patrones de ángulos

A los mármoles se les considera patrón de ángulo, ya que materializa un plano (  $180^\circ$  ).

### 3.3.4 Utilización de los patrones.

#### 3.3.4.1 Utilización de los bloques patrón o galgas Johansson.

Los bloques patrón o galgas se utilizan para la calibración o verificación de otros instrumentos de medición, incluso se emplean en máquinas - herramienta como sistemas de medida auxiliares en fresadoras, para ajustar la altura de cortadores de fresado entre otros.

Los bloques patrón se usan combinando unos con otros para determinar medidas con severa precisión, a las combinaciones anteriores se les llama apilamientos o alteros. La manera por la cual se adhieren 2 bloques o más consiste en desplazar totalmente el aire ( Fig. 3.34 ) que se encuentra al momento de unir las superficies de sus caras, una vez eliminado el aire entre ellas, la presión atmosférica mantiene unido al número de bloques patrón del apilamiento que se realice.

Es importante que la longitud del apilamiento formado, quede dentro de los límites de precisión requeridos para su empleo esto se mues

tra en las tablas III.1 y III.2

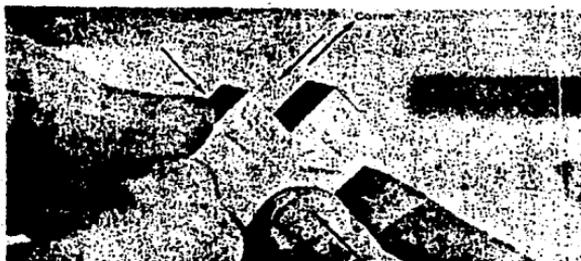


Fig. 3.34 Bloques patrón adheridos.

### 3.3.4.1.2 Procedimiento para determinar los bloques patrón en un apilamiento.

Al realizar un apilamiento de bloques patrón, debe usarse el menor número de bloques posibles, se recomienda que no excedan de 5, salvo en algunos casos donde se utilizan bloques, llamados de desgaste o protectores (Tabla III.5).

Grado	Bloques juego	Tamaño	Grado	Bloques juego	Tamaño	Grado	Bloques juego	Tamaño
A	2	1 mm	A	2	1 mm	2 (A*)	2	.05"
B			B			3 (A,B)		
A	2	1 mm	A	2	2 mm	2 (A*)	2	.10"
B			B			3 (A,B)		

Tabla III.5

Ejemplo: Se desea formar un apilamiento de bloques patrón de longitud 62.425 mm.

Se escogen bloques patrón métricos de la tabla III.3, y se realizan las siguientes sustracciones aritméticas:

62.425 ... Longitud deseada.

2.005 ... Eliminar la última cifra de la derecha, restando el  
60.42 bloque 2.005

60.42	....	Longitud decrecida.
<u>2.02</u>	....	Nuevamente eliminar la última cifra de la derecha,
58.4		restando el bloque 2.02
58.4	.....	Longitud decrecida.
<u>2.4</u>	.....	Eliminar la última cifra de la derecha, restando -
56		el bloque 2.4
56	.....	Longitud decrecida.
<u>6</u>	.....	Eliminar la cifra ( 6 ), restando el bloque 6.0
50		
50	.....	Longitud decrecida.
<u>50</u>	.....	Eliminar la última cifra con el bloque de 50.0
0		

Por lo tanto los bloques requeridos para formar el apilamiento -- que satisfaga la longitud de 62.425 mm son:

Cantidad	Dimensión del bloque patrón o galga.
1	----- 2.005 mm
1	----- 2.02 mm
1	----- 2.4 mm
1	----- 6.0 mm
1	----- 50.0 mm

Para determinar los bloques patrón de cierta longitud representada por un apilamiento en el sistema inglés, se consulta la tabla III.4 y se procede de igual forma a la anterior.

3.3.4.1.3 Recomendaciones para la conservación de los bloques patrón o galgas Johansson.

3.3.4.1.3.1 No exponer las galgas en atmósfera húmeda, ácida o con polvo abrasivo.

3.3.4.1.3.2 No utilizar las galgas con las manos sucias o húmedas.

3.3.4.1.3.3 Antes de usarlas, limpiarlas cuidadosamente con una gamuza sin utilizar disolventes, tales como la gasolina u otros.

3.3.4.1.3.4 Después de limpiarlas se aplica una ligera película de un lubricante especial, para evitar el " agarrotamiento ".

3.3.4.1.3.5 Limpiar cuidadosamente las superficies donde tengan que es tar en contacto con las galgas, incluyendo la de los instrumentos que se vayan a calibrar.

3.3.4.1.3.6 No forzar nunca una combinación de galgas, al hacer contac to con alojamientos a verificar.

3.3.4.1.3.7 Cerciorarse que al unir las galgas, estén perfectamente -- adheridas para evitar accidentes como caídas.

3.3.4.1.3.8 Evitar choques, caídas u otro maltrato.

3.3.4.1.3.9 La medición o verificación debe hacerse a la temperatura - de referencia (  $20^{\circ}\text{C} \pm 1$  ).

3.3.4.1.3.10 Después de su uso limpiar cuidadosamente las galgas con - una gamuza, de manera que no queden huellas de los dedos del operador.

3.3.4.1.3.11 Durante cada 8 días limpiarlas y engrasarlas con lubrican te neutro o vaselina neutra perfectamente para.

3.3.4.2 Utilización de los patrones de extremos esféricos.

Se utilizan principalmente como patrón para la verificación de -- instrumentos de medida; como micrómetros, máquinas de medir y calibres de tolerancia para exteriores.

3.3.4.3 Utilización de los patrones cilíndricos.

También se les utiliza para la verificación de calibres de tole-- rancia del tipo de boca o de herradura, de instrumentos y aparatos de medición como calibradores con vernier, micrómetros y comparadores neu-- máticos.

### 3.3.4.4 Utilización de los patrones de ángulo.

Se utilizan para llevar a cabo métodos, en la verificación de planitudes, paralelismo y rectitud.

## 3.4 Comparadores.

### 3.4.1 Generalidades.

Una de las técnicas modernas que han adquirido mucha importancia, principalmente en salas - laboratorios de Metrología; es la de medición por comparación, donde no se obtiene directamente la medida real de la pieza en cuestión, sino los diferenciales u oscilaciones tanto dimensional como geométricos dentro de un campo de tolerancia con respecto a la medida nominal o punto cero previamente ajustado mediante el uso de un patrón.

#### 3.4.1.1 Clasificación de los comparadores.

Según su sistema de comprobación por comparación	Comparadores de sistema mecánico.
	" " " óptico
	" " " neumático
	" " " eléctrico
	" " " electrónico
" " " mixto	

### 3.4.2 Comparador de carátula.

Aunque la mayoría de los comparadores poseen carátula, así es, como se conoce a los que su sistema de comprobación por comparación es mecánico.

### 3.4.2.1 Principio de funcionamiento del comparador de carátula.

La medición por comparadores de carátula se realiza siguiendo un sistema de transmisión y amplificación totalmente mecánica.

Mediante el esquema de la Fig. 3.35 se describe el principio de funcionamiento del comparador de carátula.

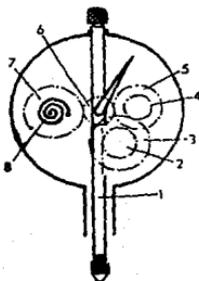


Fig. 3.35 Funcionamiento del comparador de carátula

La varilla o vástago ( 1 ) que soporta el palpador forma una cremallera que engrana con un piñón ( 2 ); este piñón transmite su movimiento a través de un tren de engranes ( 3, 4 y 5 ), que lo amplifica, al piñón ( 6 ) unido a la aguja del cuadrante o esfera. Los engranes previamente calculados para que cada milímetro de desplazamiento del palpador, la aguja dé una vuelta completa al cuadrante o esfera. Una rueda dentada ( 7 ) engrana también en el piñón ( 6 ) y está provista de un resorte espiral ( 8 ) que tiende a hacer girar la rueda de modo que empuje siempre hacia abajo a la varilla o vástago del palpador, con lo cual se logra que el palpador se mantenga siempre en contacto con la superficie que se comprueba o mida.

#### 3.4.2.1.1 Relación de amplificación

La relación del movimiento de la aguja indicadora respecto al desplazamiento del palpador, se ilustra con el ejemplo siguiente:

De la Fig. 3.36 se tiene que:

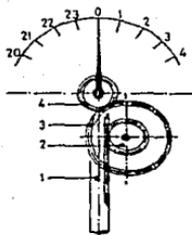


Fig. 3.36 Relación de amplificación.

La cremallera ( 1 ) que contiene al palpador con un número determinado de dientes.

Piñón ( 2 ) con 10 dientes.

Corona ( 3 ), solidaria al piñón y con 100 dientes.

Cada vuelta del piñón, la corona dará otra vuelta, pero mientras aquél pasa 10 dientes, ésta pasará 100, es decir 10 veces más.

Piñón ( 4 ), porta - aguja indicadora y con 10 dientes. Es comandada por la corona ( 3 ), y muy sensible al movimiento porque para girar una vuelta completa solo precisa que el piñón ( 2 ), gire un diente girando asimismo 10 dientes de la corona.

Si el paso del dentado de la cremallera y del piñón ( 2 ), es --- 1 mm , y si se acciona este valor al palpador, éste será asimismo el - valor por cada vuelta en la esfera o cuadrante, así es como; en este - caso el valor de 1 mm dividido por el número de divisiones que tenga - la esfera o cuadrante, proporcionará la legibilidad del aparato.

$$\frac{1}{100} \text{ mm} = 0.01 \text{ mm}$$

3.4.2.2 Partes principales que constituyen un comparador de carátula

En la Fig. 3.37 se aprecian estas partes principales:



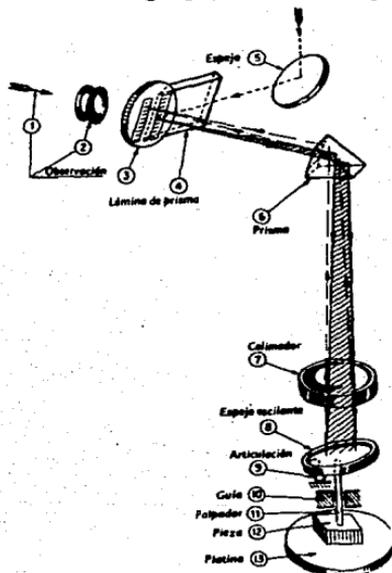
pondiente al desplazamiento del palpador, o sea a la diferencia entre la medida del patrón ( bloques o galgas ) y de la pieza.

### 3.4.4 Comparadores ópticos

El modo de amplificación adoptado por estos comparadores, es únicamente óptico. Teniendo la ventaja de eliminar en gran parte el uso de piezas mecánicas.

#### 3.4.4.1 Principio de funcionamiento del comparador óptico.

Basándose en la Fig. 3.38 se tiene que:



**Fig. 3.38** Principio de funcionamiento del comparador óptico.

El objetivo ( 3 ) lleva dos graduaciones fijas, la cual una de ellas, la de la izquierda, está iluminada mediante un espejo ( 5 ) y una lámina de prisma ( 4 ). La graduación se refleja sobre el espejo -

oscilante ( 8 ), por medio del prisma ( 6 ) y de la lente convergente- ( 7 ), éste hace que los rayos luminosos que provienen del objetivo -- sean paralelos.

Por oscilación del espejo ( 8 ), bajo la acción de las variacio-- nes de altura de la pieza a medir ( 12 ), la imagen reflejada de la -- graduación izquierda se desplaza delante de la graduación derecha y da el aspecto de la Fig. 3.39 mediante el ocular ( 2 ).

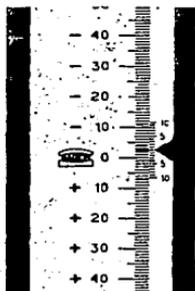


Fig. 3.39

La precisión de medida puede alcanzar  $\pm 0.2 \mu$  en los comparadores- ópticos que se usan en los laboratorios de Metrología.

### 3.4.5 Comparadores neumáticos.

Actualmente son muy empleados en la medición y comprobación de -- piezas fabricadas en serie.

#### 3.4.5.1 Principio de funcionamiento del comparador neumático.

Consiste en que un cierto volumen de aire previamente establecido a presión y velocidad constantes pasa a través de un orificio calibra-- do hacia el elemento medidor; este flujo de aire crea una contrapre-- sión al ponerse en contacto con la cara de la pieza que se va a medir. Dicha contrapresión va a depender del claro existente entre la pieza y el elemento medidor. Lo anterior se aprovecha mediante un mecanismo -- convertidor para obtener mediciones lineales; el mecanismo puede ser --

del tipo tubo de Bourdon y carátula, de flotador y columna de aire o por columna de agua en un tubo de cristal.

De la Fig. 3.40 se realizará el desarrollo matemático de este principio:

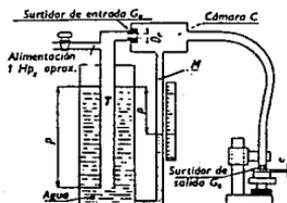


Fig. 3.40 Principio del comparador neumático.

El volumen que pasa por las toberas  $G_e$  y  $G_s$  es constante para ambas, además se harán las siguientes hipótesis admisibles en razón de las condiciones de funcionamiento:

- La circulación de aire se hace a volumen y temperatura constantes.
- En la cabeza de cada tobera, la velocidad del aire puede considerarse nula con relación a la del paso en las toberas, dado el pequeño diámetro de éstas respecto a la conducción.
- Entre  $G_e$  y  $G_s$  el trabajo de la gravedad es nulo.
- El aire no se comprime, dada las pequeñas presiones normalmente utilizadas:  $P = 0.005$  a 1 m columna de agua.

La velocidad de circulación a la entrada se puede expresar con la fórmula ( 3.5 ).

$$V_e = \sqrt{2gh} \quad (\text{ m/min } ) \quad \dots \dots \dots ( 3.5 )$$

La altura será la diferencia de presiones en la tobera de entrada y salida, por lo tanto:

$$h = \frac{P - p}{\rho} \quad (\text{ m } ) \quad \dots \dots \dots ( 3.6 )$$

Sustituyendo ( 3.6 ) en ( 3.5 ) se tiene:

$$V_e = \sqrt{2g \frac{P - p}{d}} \quad ( \text{ m / min. } ) \quad \dots \quad ( 3.7 )$$

El flujo de volumen de aire en la tobera de entrada  $Q_e$  será mediante la fórmula ( 3.8 )

$$Q_e = V_e A_e \quad ( \text{ m}^3 / \text{ min. } ) \quad \dots \quad ( 3.8 )$$

En donde

$$A_e = \frac{\pi D_e^2}{4} \quad ( \text{ m}^2 ) \quad \dots \quad ( 3.9 )$$

Sustituyendo ( 3.7 ) y ( 3.9 ) en ( 3.8 )

$$Q_e = \frac{\pi D_e^2}{4} \sqrt{2g \frac{P - p}{d}} \quad \dots \quad ( 3.10 )$$

Ahora la velocidad de circulación de salida, se expresa con la fórmula ( 3.11 )

$$V_s = \sqrt{2g \frac{p}{d}} \quad ( \text{ m / min. } ) \quad \dots \quad ( 3.11 )$$

Siendo la presión absoluta en la parte exterior de la tobera, la presión atmosférica.

El flujo de volumen en la tobera  $Q_s$  será:

$$Q_s = V_s A_s \quad ( \text{ m}^3 / \text{ min. } ) \quad \dots \quad ( 3.12 )$$

En donde el área  $A_s$  estará representada por la sección de escape, limitada por un lado con la tobera y por el otro con la pieza a medir o verificar, entonces:

$$A_s = \pi D_s \bar{a} \quad (m^2) \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

Donde:

$D_s$  = Diámetro de salida del aire en la tobera  $G_s$  en ( m )

$\bar{a}$  = Separación entre la parte exterior de la tobera y de la --  
pieza a medir o verificar en ( m )

Sustituyendo ( 3.11 ) y ( 3.13 ) en ( 3.12 )

$$Q_s = \sqrt{2g \frac{p}{d}} \pi D_s \bar{a} \quad (m^3 / min. ) \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

De la consideración en que la circulación del aire es a volumen -  
constante se tiene que:

$Q_e = Q_s$  entonces igualando ( 3.10 ) y ( 3.14 )

$$\frac{\pi D_e^2}{4} \sqrt{2g \frac{P-p}{d}} = \sqrt{2g \frac{p}{d}} \pi D_s \bar{a}$$

Simplificando la anterior igualdad.

$$\frac{\pi^2 D_e^4}{16} 2g \frac{P-p}{d} = 2g \frac{p}{d} \pi^2 D_s^2 \bar{a}^2$$

$$2g \frac{P-p}{d} = \frac{2g \frac{p}{d} \pi^2 D_s^2 \bar{a}^2}{\frac{\pi^2 D_e^4}{16}}$$

$$2g \frac{P-p}{d} = \frac{16 \cdot 2g \frac{p}{d} D_s^2 \bar{a}^2}{D_e^4}$$

$$\frac{P-p}{d} = \frac{16 \cdot 2g \frac{p}{d} D_s^2 \bar{a}^2}{D_e^4} = \frac{16 D_s^2 \bar{a}^2}{D_e^4} \frac{p}{d}$$

$$P - p = \frac{16 D_s^2 \bar{a}^2 \frac{p}{d}}{D_e^4} d$$

$$P - p = \frac{16 D_s^2 \bar{a}^2 p}{D_e^4}$$

$$\frac{P - p}{p} = \frac{16 D_s^2 \bar{a}^2}{D_e^4}$$

$$\frac{P}{p} - 1 = \frac{16 D_s^2 \bar{a}^2}{D_e^4}$$

$$\frac{P}{p} = \frac{16 D_s^2 \bar{a}^2}{D_e^4} + 1$$

$$P = \frac{16 D_s^2 \bar{a}^2}{D_e^4} + 1 p$$

$$p = \frac{P}{\frac{16 D_s^2 \bar{a}^2}{D_e^4} + 1}$$

Donde p es la presión en Ge leída con el manómetro ( con cabeza de la tobera Ge )

### 3.4.5.2 Tipos de comparadores neumáticos.

3.4.5.2.1 Tipo de flujo libre.- En este tipo el suministro de aire --- ( Fig. 3.41 ) se filtra y se reduce la presión pasando a través de un tubo de vidrio que contiene un pequeño flotador de metal, este tubo es tá al cabezal medidor, el cual tiene 2 orificios diametralmente opuestos para el escape del aire.

3.4.5.2.2 Tipo de contrapresión.- Constan de un tubo de Bourdon ( Fig. 3.42 ), que se deforma debido a los cambios de contrapresión registrados en el circuito, ocasionados por la variación de la magnitud de la-

pieza verificada. La variación se amplifica con un mecanismo de palanca y engrane que se aprecia en una carátula.

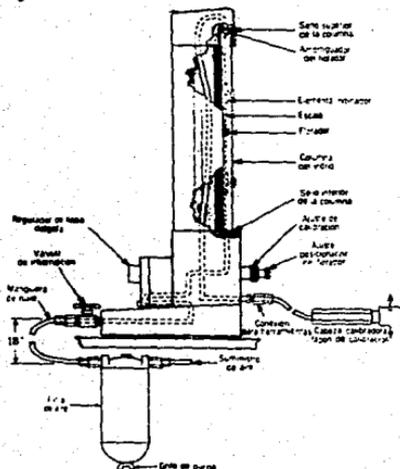


Fig. 3.41 Comparador neumático de flujo libre.

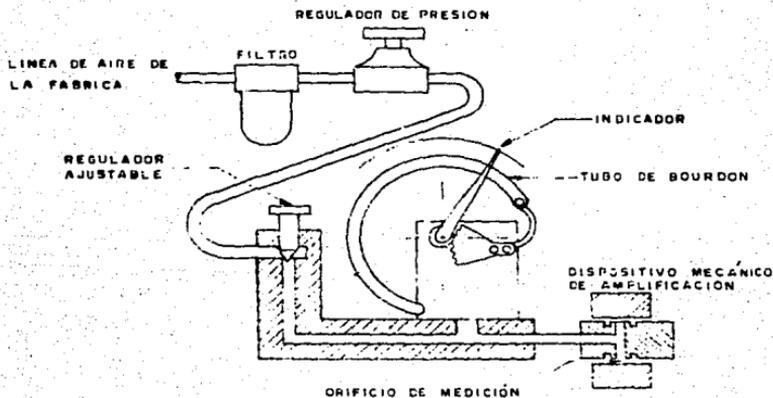


Fig. 3.42 Comparador neumático de contrapresión.

### 3.5 Calibres.

#### 3.5.1 Generalidades.

Surgieron a raíz de la aparición de fabricación de piezas en serie, ya que no era conveniente ni costeable el uso de instrumentos comunes como calibradores con vernier y micrómetros.

Se les conoce como calibres fijos, de tolerancia y pasa - no pasa

Su objetivo es el de comprender en su límite de fabricación todo el campo de tolerancia de las piezas " buenas ", pues no ofrece el valor real de la medida física comprobada, sino que limita simplemente a admitir o rechazar toda medida que esté dentro o fuera, respectivamente, de su campo límite de fabricación.

En la fabricación de los calibres, la base de sus medidas nominales y valores de tolerancia son los números normales o valores de la serie de Renard.

#### 3.5.2 Tipos de calibres.

En la industria se usan diferentes tipos de calibres, clasificándose de la siguiente manera.

3.5.2.1 Calibres de fabricación.- Denominados también de trabajo, son aquellos empleados a pie de máquina o por personal perteneciente al taller de fabricación.

3.5.2.2 Calibres de control.- Denominados también de verificación, son aquellos empleados por el personal perteneciente al servicio de Control e Inspección de aceptación o rechazo de piezas.

3.5.2.3 Calibres patrones.- Llamados también de comprobación, son aquellos destinados para la referencia o revisión periódica de los de fabricación y control.

#### 3.5.3 Formas de los calibres.

Existen una gran variedad de calibres, sobre todo en los departa

mentos de inspección en las industrias, que se emplean para verificar un gran número de piezas, siendo las formas más clásicas:

3.5.3.1 Calibres hembras ( Fig. 3.43 ) para medidas exteriores.



Fig. 3.43 Calibre de mandíbula.

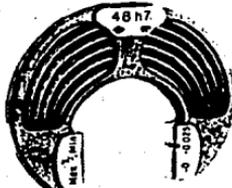


Fig. 3.44 Calibre de herradura.

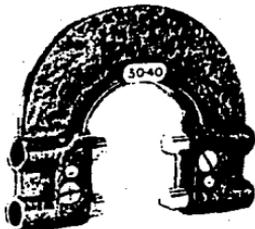


Fig. 3.45 Calibre de mandíbula regulable.



Fig. 3.46 Calibre de anillo.

MODELOS DE MANDIBULAS FORJADOS, CARACTERISTICAS Y APLICACIONES RECOMENDADAS

 Acero forjado * Acero fundido y bocas con pozos	Comprobar pequeñas, medianas y grandes medidas de ajuste, del orden de 3 a 200mm. Comprobaciones precisas Muy utilizados Elaboración cara siné en serie Modelos rígidos y estables Un modelo P y NP (combinado) Un modelo P y NP (con rodillos lisos) Un modelo P Un modelo NP
	Comprobar grandes medidas de ajuste, del orden de 100 a 350mm. Reste de características igual al anterior
 Acero forjado	Comprobar pequeñas y medianas medidas de ajuste, del orden de 3 a 50mm. Un modelo P y NP (dos bocas) Comprobaciones lentas Reste sustancialmente igual al anterior
<p align="center"><u>MODELOS DE ANILLO, CARACTERISTICAS Y APLICACIONES RECOMENDADAS</u></p>	
 Acero laminado	Comprobar pequeñas, medianas y grandes medidas de ajuste del orden de 1 a 315mm. Poco utilizados normalmente Utilizados para comprobar piezas de pared delgada Utilizados para comprobar instrumentos de medida Comprobaciones completas y precisas Detecta errores geométricos de cilindridad (error por conicidad, barrilete, etc). Comprobaciones lentas Elaboración costosa Utilizados para comprobar formas poligonales

Fig. 3.47 Cuadro de calibres hembra para exteriores.

3.5.3.2 Calibres macho ( Fig. 3.48 ) para medidas interiores.

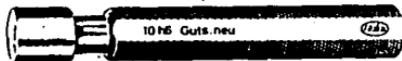


Fig. 3.48 Calibre de tapón.



Fig. 3.49 Calibre de planos dobles.



Fig. 3.50 Calibre de varillas dobles con extremos esféricos.

MODELOS TAMPONES, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES RECOMENDADAS

 	<p>Acero laminado</p> <p>Comprobar pequeñas y medianas medidas de ajuste, del orden de hasta 30mm.            Un modelo P y NP (dos cabezas)            Un modelo P y NP (combinado)            Modelos con piloto de guiado            Ejecución económica y rápida en modelos mono-bloques.            Comprobaciones completas y precisas            Detecta errores geométricos de cilindridad (errores por concicidad, barrilete, etc)            Muy utilizados            Modelos provistos de varilla-calibre en el lado NP, para comprobaciones desde 30 a 50mm.            Modelos cilíndricos y poligonales</p>
 idem	<p>Comprobar medianas y grandes medidas de ajuste, del orden de hasta 100mm.            Un modelo P            Un modelo NP            Baste de características esencialmente igual al anterior</p>

MODELOS FORJADOS, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES RECOMENDADAS

 Acero forjado	<p>Comprobar medianas y grandes medidas de ajuste, del orden de 30 a 250mm.            Un modelo P y NP (dos cabezas)            Modelos rígidos y estables            Muy utilizados</p>
 idem	<p>Comprobar grandes medidas de ajuste, a partir de 110mm.            Un modelo P            Un modelo NP            Baste de características esencialmente igual al anterior</p>
 Acero laminado	<p>Comprobar medianas y grandes medidas de ajuste, desde 30 a 160mm.            Un modelo P            Un modelo NP            Modelos ligeros            Modelos con puño</p>
 idem	<p>Comprobar grandes medidas de ajuste, a partir de 160mm.            Modelos sin puño            Baste de características esencialmente igual al anterior</p>

Fig. 3.51 Cuadro de calibres macho para interiores.

### 3.5.4 Utilización de los calibres.

Se utilizan bastante en la industria, específicamente en el Control de inspección de piezas fabricadas en serie.

#### 3.5.4.1 Material de los calibres.

Es importante de que material estén hechos, ya que de este aspecto depende su utilización.

3.5.4.1.1 En producción para lotes medianos.- Se utilizan de aleaciones de acero con las superficies de contacto o desgaste endurecidas. - Por ejemplo se pueden usar de un acero al carbón tratado térmicamente.

3.5.4.1.2 Para producción de gran volumen.- Las superficies de contacto o desgastese recubren de Cromo.

3.5.4.1.3 Cuando en la producción se requiere de un alto grado de precisión y el desgaste es excesivo.- Se usan contactos de carburo de tungsteno, y se revisan frecuentemente para verificar su desgaste. En operaciones donde se requiere mantener un alto grado de precisión, la cantidad de margen de desgaste es muy pequeña.

#### 3.5.4.2 Recomendaciones para el uso de todo tipo de calibres.

3.5.4.2.1 Al verificar la pieza en cuestión nunca forzar su entrada.

3.5.4.2.2 Al verificar piezas en procesos de máquinas - herramienta no deben de estar en movimiento.

3.5.4.2.3 Comprobar periódicamente los efectos de desgaste.

## CAPITULO 4 VERIFICACION DE MAGNITUDES.

## 4.1 Verificación de superficies planas.

## 4.1.1 Instrumentos para verificar superficies planas.

Para verificar superficies planas de piezas fabricadas o partes esenciales de instrumentos de medición, es necesario contar con una serie de instrumentos adecuados, para llevar a cabo dicha verificación.

## 4.1.1.1 Mármoles.

Mármol es un elemento de verificación utilizado para materializar un plano. Su forma más usual es la de una gruesa placa ( Fig. 4.1 ) -- rectangular; una de sus caras es perfectamente plana, pulida y lapeada en algunos modelos la cara opuesta está provista de nervios de gran -- profundidad para repartir la presión uniformemente así resulta insignificante la deformación de la superficie de medida. Algunos son de fundición de hierro ( ordinaria y especial ) y otros de granito.



Fig. 4.1 Mármol de granito.

Los mármoles de dimensiones grandes sus apoyos son gatos o tornillos de reglaje fino por si existe una falla sobre el terreno donde se instalan, se montan sobre una base de hormigón. Se prefieren los mármoles de granito sobre los de fundición por las siguientes ventajas: Al caer las herramientas o piezas a verificar no producen deformaciones o rebabas, la superficie no brilla lo que facilita las lecturas de los instrumentos o aparatos de medición y son más duros que la fundición gris.

En la tabla IV.1 se proporcionan grados y especificaciones de los mármoles.

Medida	"AA" LABORATORIO		"A" INSPECCION		"B" TALLER	
	Esp.	Peso Lb.	Esp.	Peso Lb.	Esp.	Peso Lb.
12 x 12"	3"	39	3"	39	3"	39
12 x 18"	4"	80	4"	80	4"	80
18 x 24"	4"	180	4"	180	4"	195
24 x 24"	5"	290	4"	240	4"	240
24 x 36"	6"	550	5"	470	4"	375
30 x 48"	8"	1200	6"	935	6"	935
36 x 48"	8"	1475	6"	1125	6"	1125
36 x 72"	12"	3200	10"	2700	8"	2160
48 x 72"	12"	4300	10"	3600	8"	2880
48 x 96"	14"	6650	12"	5750	10"	5050

Tabla IV.1

#### 4.1.1.2 Reglas de acero.

4.1.1.2.1 Regla de planitud de acero en forma elíptica.- Tiene una cara plana, la sección es en forma de I ( Fig. 4.2 ) con nervios de refuerzo, los soportes de madera se utilizan como empuñaduras para evitar la transferencia de temperatura de las manos del operador. Su longitud máxima es de 3 m.



Fig. 4.2 Regla de planitud elíptica.

4.1.1.2.2 Regla de planitud de acero de caras planas y paralelas.- Tiene 2 caras planas y paralelas, y la sección en forma de I ( Fig. 4.3 ) la serie de agujeros en el alma de la regla es para aligerarla.

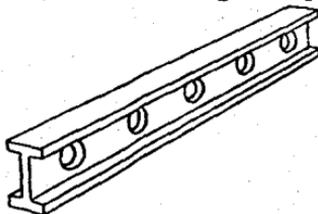


Fig. 4.3 Regla de acero de planitud con caras planas y paralelas

4.1.1.2.3 Regla de planitud de acero de sección triangular.- Llamada -

también prismática ( Fig. 4.4 ), incluso es útil en la verificación de guías prismáticas de máquinas - herramienta ( colas de milano ).



Fig. 4.4 Regla de planitud de sección triangular.

4.1.1.2.4 Regla de acero biseladas.- Llamada también de cuchillo ( Fig 4.5 ) se fabrican de acero cementado, templado y estabilizado, con las caras de verificación rectificadas y lapeadas según su precisión, son-indeformables y poseen una protección aislante.



Longitud (mm)	Características
60	Con protección aislante
75	Con protección aislante
100	Con protección aislante
150	Con protección aislante
200	Con protección aislante
300	Con protección aislante
400	Con protección aislante
500	Con protección aislante

Fig. 4.5 Regla de acero biselada.

#### 4.1.1.2.5 Precisión de las reglas y mármoles.

La precisión de las reglas y mármoles están provistas por las normas alemanas DIN 876, dando las tolerancias de error máximo admisible.

Precisión I ( alta precisión ) .....	$\pm ( 5 + \frac{L}{200} ) \mu$
" II ( precisión normal ) .....	$\pm ( 10 + \frac{L}{100} ) \mu$
" III ( superficies cepilladas ) ....	$\pm ( 20 + \frac{L}{50} ) \mu$

L longitud del lado más largo, en mm

Para las reglas de verificación según norma DIN 874.

Reglas biseladas .....	$\pm \left( 1 + \frac{L}{500} \right) \mu$
"    rectangulares o cuadradas .....	$\pm \left( 1 + \frac{L}{200} \right) \mu$
"    de taller de precisión I .....	$\pm \left( 2 + \frac{L}{100} \right) \mu$
"    "    "    "    "    II .....	$\pm \left( 5 + \frac{L}{50} \right) \mu$
L longitud de la regla, en mm	

#### 4.1.1.3 Nivel burbuja de precisión.

Es aplicable a toda superficie plana horizontal; como la de los mármoles, las guías de máquinas - herramienta no importando sus dimensiones. Es bastante utilizada en la industria para verificar la nivelación de máquinas - herramienta en su instalación asegurando un buen funcionamiento de éstas.

La parte principal de un nivel burbuja de precisión es un tubo de vidrio curvado y calibrado, lleno de éter o alcohol dejando una burbuja de aire entre 20 y 30 mm , el tubo se cierra por medio de tapones - que deben ser de un material que no los afecte el éter o alcohol. Las variaciones se pueden leer en una escala marcada sobre el tubo.

El tubo se instala en un soporte inclinable ( Fig. 4.6 ) que permite una regulación del nivel por medio de un tornillo micrométrico. - Al conjunto ( nivel y soporte ) se le conoce como clinómetro.

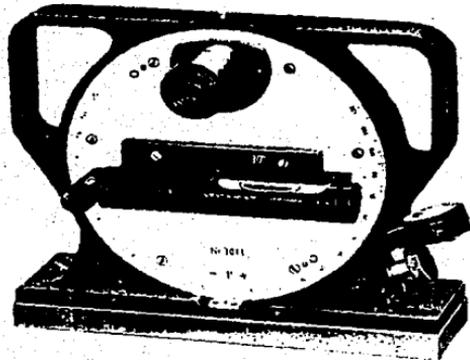


Fig. 4.6 Clinómetro.

#### 4.1.1.3.1 Características de un nivel de precisión.

4.1.1.3.1.1 Sensibilidad aparente.- Es la variación de pendiente por metro al dar a la burbuja un desplazamiento correspondiente a una división o trazo de la escala graduada en el tubo. Los más empleados en la industria son de sensibilidad de 0.02 mm por metro, estando distantes las divisiones o trazos del tubo 2 mm.

Por trigonometría se calcula el radio de curvatura del nivel; al ser semejantes los triángulos OAB y O'A'B' ( Fig. 4.7 ) teniendo la relación.

$$\frac{R}{L} = \frac{1}{h} \dots\dots\dots ( 4.1 )$$

Para  $l = 2 \text{ mm}$      $h = 0.02 \text{ mm}$     y     $L = 1 \text{ m}$

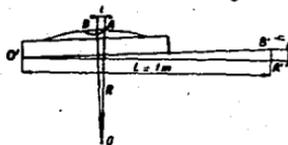


Fig. 4.7 Relación de triángulos semejantes.

Para determinar R se utiliza la relación ( 4.1 ).

$$R = \frac{l ( L )}{h} = \frac{2 \text{ mm} ( 1 \text{ m} )}{0.02 \text{ mm}}$$

$$R = \frac{2 \text{ mm} ( 1000 \text{ mm} )}{0.02 \text{ mm}} = \frac{2000 \text{ mm}^2}{0.02 \text{ mm}} = 100 \ 000 \text{ mm} = 100 \text{ m}$$

∴  $R = 100 \text{ m}$

La relación R/L es la relación de amplificación del nivel; en este caso vale 100

La sensibilidad del nivel puede obtenerse mediante el valor de h correspondiente al desplazamiento de una división de la burbuja para una longitud igual a la base del nivel en cuestión. Por ejemplo en la Fig. 4.8 la base de cierto nivel es de 200 mm de longitud, h valdrá:

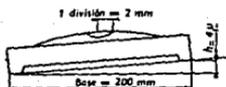


Fig. 4.8

De la relación ( 4.1 ), se despeja y se sustituyen valores.

$$h = \frac{1 ( L )}{R}$$

$$h = \frac{2 \text{ mm} ( 200 \text{ mm} )}{100\,000 \text{ mm}} = \frac{400 \text{ mm}^2}{100\,000 \text{ mm}} = 0.004 \text{ mm} = 4 \mu$$

∴  $h = 4$  Esta relación permite calcular la desnivelación relativa entre los 2 extremos del nivel para un desplazamiento dado de la burbuja.

4.1.1.3.1.2 Histerisis del nivel.- Sea un nivel en un plano Ap ( Fig. 4.9 ), estando la burbuja sobre la graduación t. Al levantar suavemente el lado derecho del nivel, la burbuja se desplaza hacia la derecha. Al bajar de nuevo el nivel y tomando la pendiente Aq para la cual la burbuja vuelve de nuevo a t; la distancia pq expresada en micras por metro da la incertidumbre o histerisis del nivel, debido a la adherencia de la burbuja en las paredes del tubo y a la viscosidad del líquido que lo llena.

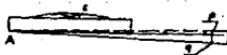


Fig. 4.9 Histerisis del nivel burbuja

4.1.1.3.1.3 Influencia de la temperatura.- Los niveles son muy sensibles a las variaciones de temperatura; que modifica la longitud de la burbuja y deforma el tubo. Para mediciones precisas es recomendable -- operar con bastante rapidez y en un local isoterma y exento de vibraciones.

4.1.1.3.1.4 Lentitud de retorno de la burbuja.- Depende del radio de -

curvatura del tubo, de la viscosidad y densidad del líquido de llenado. Cuanto mayor es el radio de curvatura, más lentos son los desplazamientos de la burbuja.

#### 4.1.1.3.2 Empleo del nivel burbuja de precisión.

4.1.1.3.2.1 Lectura de las divisiones.- Se utiliza de un solo lado de la burbuja, y siempre el mismo; el lado derecho ( Fig. 4.10 ), y para las medidas, el nivel se desplaza de izquierda a derecha.

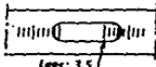


Fig. 4.10 Lecturas de las divisiones

4.1.1.3.2.2 Ajuste a cero de un nivel.- Se dice que un nivel está en cero cuando la posición que toma la burbuja en el tubo de vidrio, al colocarlo sobre una superficie de referencia - un mármol o una bancada - la posición de la burbuja no cambia si el nivel se gira a  $180^\circ$  sobre dicha superficie.

#### 4.1.1.4 Planos ópticos.

Son empleados para la verificación de planitud de superficies pequeñas, son de cuarzo o vidrio ( Fig. 4.11 ) extremadamente planos.



Planitud	Dimensiones	Planitud	Dimensiones
0.2 $\mu$ m	45x12mm	8 $\mu$ m	1.8x5"
0.1 $\mu$ m	45x12mm	4 $\mu$ m	1.8x5"
0.2 $\mu$ m	60x15mm	8 $\mu$ m	2.4x6"
0.1 $\mu$ m	60x15mm	4 $\mu$ m	2.4x6"

Fig. 4.11 Planos ópticos.

#### 4.1.2 Métodos para verificar superficies planas.

4.1.2.1 Método de la renuija de luz.- Se emplea una regla biselada tipo cuchillo.

Se coloca la regla biselada con la superficie estrecha de la mis-

ma aplicada contra la superficie a verificar. Es recomendable colocar en diagonales sobre el ancho y largo de la pieza a verificar. Las irregularidades se manifiestan por la rendija de luz que aparece entre la superficie a verificar y la de la regla, se pueden apreciar rendijas de luz hasta de  $10\mu$ . En la Fig. 4.12 se muestran superficies defectuosas, empleando este método.



Fig. 4.12 Superficies defectuosas. a) regla b) pieza c) rendija de luz

4.1.2.2 Método realizado con un mármol.- Llamado también como del " en tintado ". Se emplea un mármol y tinta azul de prusia.

Consiste en entintar la superficie del mármol que se usa como plano patrón, la tinta debe estar exenta de todo tipo de impurezas para evitar rayaduras, posteriormente se hace contacto con la superficie a verificar, ésta se desliza de un lado a otro con relación a la del már mol, la tinta se desprenderá de la superficie del mármol y a su vez se impregnará en los puntos de apoyo más " altos " de la superficie a verificar, que por lo general se reducen por rasqueteado o rectificado para corregir las irregularidades de la pieza.

Este método tiene el inconveniente de desconocer el espesor de metal a eliminar, y se realiza solamente por aproximaciones sucesivas.

4.1.2.3 Método de los 3 mármoles.- Conocido también como de compara--- ción recíproca, se emplean 3 mármoles.

Es empleado también en las operaciones de rasqueteado, se tiene la gran ventaja de obtener un plano patrón sin contar con ningún medio de verificación de planidad. Para ello es necesario el ajuste simultáneo de 3 mármoles A, B y C ( Fig. 4.13 ), su aplicación queda limitada a mármoles de pequeñas dimensiones, máximas de 1 m de lado



Fig. 4.13 Método de los 3 mármoles.

Para un resultado satisfactorio es necesario que la operación de ajuste se realice correctamente, la precisión obtenida está influida por la rigidez de los mármoles que se ajustan.

4.1.2.4 Método de la regla y bloques patrón ( galgas Johansson ).- Se emplean una regla de planitud de acero, la cual deberá ser de longitud igual a la diagonal de la superficie a verificar, 3 bloques de igual altura y un juego de galgas Johansson.

Este método es aplicable a mármoles de dimensiones de 2 y 3 m.

Se cuadrícula la superficie del mármol con divisiones de 100 o 150 mm, se colocan los bloques de igual altura en 3 de los vértices de la superficie del mármol ( Fig. 4.14 ) sean A, B y C, los cuales forman un plano, que se toma de referencia, así mismo las superficies superiores de los bloques forman otro plano que es paralelo al de referencia, en seguida se coloca la regla sobre los bloques A y C, y en el punto D se apilan una serie de galgas hasta que pasen rozando suavemente debajo de la regla, este apilamiento nos da la distancia del punto D al plano que es paralelo al de referencia, se coloca ahora la regla sobre el bloque del punto B y el apilamiento de galgas en el punto D,-

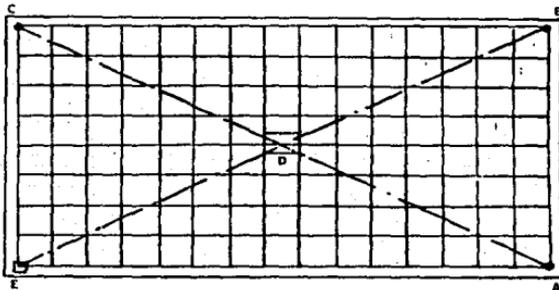


Fig. 4.14

con esto se determinará la posición de E o cuarto vértice con respecto al plano de referencia, con lo cual quedará determinado el alabeo del mármol.

El conocimiento del alabeo se puede corregir si los soportes del mármol son regulables, reduciéndose así el trabajo de acabado ( rasqueado o lapeado ) de la superficie.

En la determinación de los distintos puntos de la cuadrícula, también se introducen apilamientos de galgas bajo la regla apoyada en 2 bloques cuyas caras superiores se encuentren en el plano paralelo al de referencia A, B y C, lo mismo que se ha hecho con los puntos D y E.

Por las diferencias entre las alturas de los apilamientos de las galgas en los diversos puntos y las alturas de las combinaciones de bloques en A, B y C, se determinan los espesores de metal que hay que eliminar de los mármoles, cuando se trata de una operación de ajuste.

4.1.2.5 Método de las franjas de interferencia luminosas.- Se emplean un plano óptico y una fuente de luz de un solo color ( monocromática ) ésta puede ser de sodio, neón, etc.

Se coloca el plano óptico sobre la superficie a verificar bajo una fuente de luz monocromática que pasa a través del plano óptico, la luz monocromática es reflejada tanto por la superficie inferior del plano óptico como por la superficie a verificar.

Dependiendo de la distancia que exista entre la superficie a verificar y el plano óptico, la luz reflejada por la superficie a verificar cancela a la luz reflejada por la superficie inferior del plano óptico. A este efecto de cancelación se le conoce como interferencia.

El resultado de la interferencia produce una serie de franjas oscuras que alternan con otras claras, y precisamente a las oscuras se les llama franjas de interferencia. En la Fig. 4.15 se observan diferentes casos de superficies " planas " verificadas por medio de planos ópticos.

Las franjas de interferencia corresponden a líneas de nivel de la superficie verificada y las diferencias de nivel entre 2 franjas es una longitud determinada; esta diferencia se obtiene de acuerdo a la longitud de onda de luz utilizada. La diferencia de nivel entre los-

puntos correspondientes a 2 líneas de interferencia inmediatas, es igual a 0.5 del valor de la longitud de onda de la luz empleada.

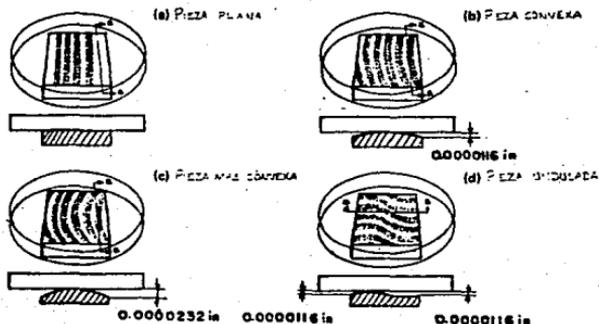


Fig. 4.15 Franjas de interferencia.

4.1.2.6 Método con el comparador de carátula y regla.- Se emplean una regla de acero con caras planas y paralelas ( que debe ser rígida para evitar la flexión ), un comparador de carátula acoplado a un soporte - éste último debe contener un palpador que sirve de apoyo en la superficie a verificar y bloques ajustables o galgas.

Se coloca la regla de caras planas y paralelas sobre 2 bloques -- ajustables o galgas ( Fig. 4.16 ), las cotas de altitud son obtenidas-

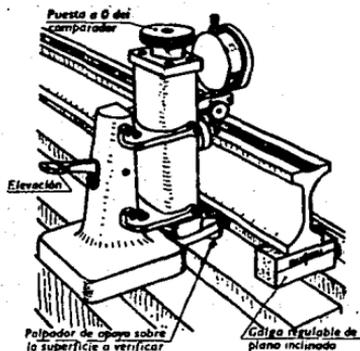


Fig. 4.16

por desplazamiento continuo del comparador a lo largo de la cara superior de la regla la cual representa el plano de referencia, apreciando se así las variaciones de cota que existen entre el plano de referencia y la superficie a verificar.

4.1.2.7 Método mediante el empleo del nivel burbuja de precisión.- Se emplean un nivel burbuja de precisión, y 3 gatos regulables. Este método se aplica a superficies de cualquier dimensión, incluso en guías de máquinas - herramienta.

Las operaciones de verificación son las siguientes:

4.1.2.7.1 Nivelación general.- Se apoya la superficie a verificar sobre los 3 gatos regulables ( Fig. 4.17 ), se pone a nivel la base AB, colocando el nivel burbuja según esta dirección, paralela al borde de la superficie a verificar, comprobando por inversión; esto es girando el nivel burbuja a  $180^{\circ}$ ; luego se coloca el nivel burbuja según OC, se actuará sobre el gato C de tal forma que se obtenga la nivelación según esta dirección. Este orden de las operaciones evita " destruir " la horizontal según AB, ya obtenida, lo que no ocurriría si primero se nivelara OC. Incluso C puede ser uno de los ángulos de la superficie a verificar; la nivelación se hace entonces según AB primero y luego AC.

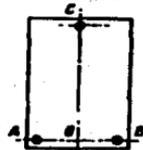


Fig. 4.17

4.1.2.7.2 Medición del alabeo de la superficie a verificar.- Se auxilia mediante una regla y galgas. Se cuadrícula la superficie a verificar, siendo A, B y C los 3 gatos regulables de apoyo principal los cuales lograron la nivelación general, mientras que D, E y F ( Fig. 4.18) son gatos de apoyo auxiliares. Determinándose el alabeo de la siguiente manera:

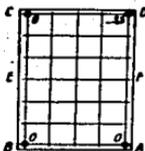


Fig. 4.18

Se coloca el nivel sobre una regla cuya longitud es igual al lado mayor de la superficie a verificar, y se apoya sobre ésta por intermedio de 2 galgas de igual altura, apoyándose siempre el nivel sobre la regla a la mitad de su longitud de ésta última.

La regla se coloca según AB y, actuando sobre uno de los gatos regulables A o B, se pondrán estos 2 puntos al mismo nivel; la regla se coloca según BC y entonces indica la altitud de C con relación a la base AB; el gato colocado debajo de C permite poner el ángulo de la superficie a verificar a nivel, se hace lo mismo según CD, se podrá medir la altitud de D ( que finalmente es la medida resultante del alabeo ) con relación al plano horizontal de referencia ABC.

Que con la ayuda del gato auxiliar D puede llevar este ángulo de la superficie a verificar fácilmente al plano horizontal ABC.

4.1.2.7.3 Levantamiento topográfico.- Consiste en levantar, con ayuda del nivel, las altitudes de los puntos de referencia definidos por la cuadrícula con relación al plano de referencia ABC, teniendo en cuenta la sensibilidad del nivel empleado, y la realización de una serie de lecturas de ida y de vuelta, tomando como altitudes definitivas la media aritmética de las lecturas anteriores.

## 4.2 Verificación de ángulos.

### 4.2.1 Instrumentos para verificar ángulos.

En la industria cuando se fabrican piezas que tienen inclinacio--

nes en su geometría, es necesario saber a que ángulo están desplazadas con respecto a un plano de referencia, por lo que se tiene la necesidad de utilizar instrumentos adecuados para medir o verificar ángulos.

#### 4.2.1.1 Escuadras de precisión.

Son muy empleadas en talleres, y se clasifican según su grado; -- los hay de grado I y II.

Su aplicación se reduce a ángulos de cierta magnitud, ya que estas escuadras poseen magnitudes angulares fijas como son de  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ , y  $90^{\circ}$  ( Fig. 4.18 Bis ). Y otras de  $120^{\circ}$  y  $135^{\circ}$  llamadas también plantillas.



Fig. 4.18 Bis Escuadras de precisión.

#### 4.2.1.2 Falsa escuadra.

Se utiliza para comparar y transportar ángulos de cualquier magnitud, tiene 2 lados móviles ( Fig. 4.19 ).



Fig. 4.19 Falsa escuadra.

#### 4.2.1.3 Transportador simple u ordinario.

Llamado también de placa, en ellos se realizan lecturas de grados enteros, en unos incluso se aprecian hasta  $1/4$  de grado, su manejo exige una atención, por ejemplo; si se aplica la pieza sobre el lado izquierdo del lado móvil del transportador, se tiene que restar de  $180^{\circ}$  el valor leído para obtener el valor del ángulo que se está midiendo, un modelo clásico se muestra en la Fig. 4.20 donde se verifica el ángulo

lo de la punta de una broca.



Fig. 4.20 Transportador simple o de placa.

#### 4.2.1.4 Transportador universal o goniómetro.

Es el transportador donde se proporciona una mayor precisión que el transportador simple, y debido a su gran versatilidad tiene muchas aplicaciones.

El transportador universal o goniómetro ( Fig. 4.21 ) tiene una escala auxiliar ( nonio o vernier ) que aumenta la precisión de la lectura a 5 minutos, el lado móvil puede adaptarse para cualquier ángulo, la escala principal está dividida en 4 cuadrantes de  $90^{\circ}$ .

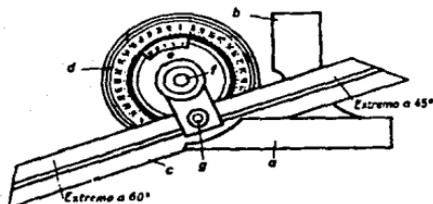


Fig. 4.21 Transportador universal o goniómetro. a) Lado principal fijo; b) Lado auxiliar fijo; c) Lado móvil; d) Escala principal; e) Nonio; f) Tornillo principal de fijación; g) -- Tornillo de fijación para lado móvil.

4.2.1.4.1 Obtención de la legibilidad del goniómetro.- El nonio o vernier ( Fig. 4.21 Bis ) abarca  $23^{\circ}$  a derecha e izquierda del trazo ce-  
ro, éstos  $23^{\circ}$  están divididos en 12 partes iguales.

Por lo tanto:

$$\text{Legibilidad} = L' = \frac{d}{n} \dots\dots\dots ( 4.2 )$$

Donde:  $L'$  = Legibilidad.

$d$  = Valor mínimo de la escala principal.

$n$  = Número de divisiones del nonio.

Sustituyendo valores en la fórmula ( 4.2 ):

$$L' = \frac{1^{\circ}}{12} = 0.08333^{\circ} = 5'$$

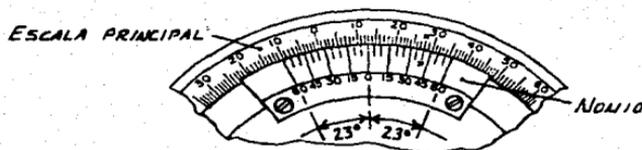


Fig. 4.21 Bis Legibilidad del goniómetro.

El transportador o goniómetro tiene la ventaja de adaptarse a la-  
geometría de las piezas a verificar ( Fig. 4.22 ), incluso se acopla a  
instrumentos como el calibrador de alturas.

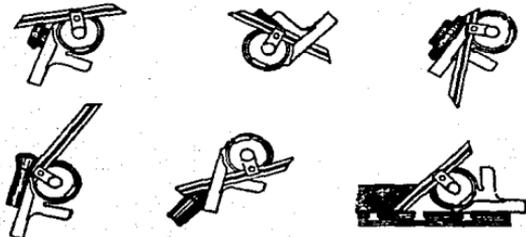


Fig. 4.22 Posiciones en la aplicación del goniómetro.

#### 4.2.1.5 Regla de senos.

Es una regla de precisión tratada térmicamente ( templada ), rectificada y lapeada ( Fig. 4.23 ). Tiene un cilindro de precisión sujeta a cada extremo, la separación entre centros de los cilindros son de 5 pulgadas, y está establecida con toda precisión.

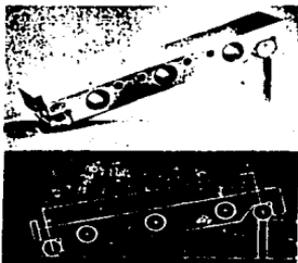


Fig. 4.23 Regla de senos.

En su empleo la regla de senos representa la hipotenusa de un triángulo rectángulo. Los ángulos se obtienen elevando un extremo de la regla mediante un apilamiento formado con un juego de galgas Johansson a una longitud específica. La longitud que se debe de elevar el extremo de la regla de senos para un ángulo deseado, se determina por la fórmula:

$$w = L ( \text{Sen } \alpha ) \quad \dots\dots\dots ( 4.3 )$$

Donde:  $w$  = Elevación de la regla.

$L$  = Separación entre centros ( longitud de la regla ).

$\alpha$  = Angulo de elevación.

Se observa que en la fórmula ( 4.3 )  $L$  será siempre dato, mientras que en unos casos se tendrán como incógnitas  $\alpha$  o  $w$ .

#### 4.2.1.6 Mesa de senos.

Se compone de una placa de acero rectificada y lapeada de sección rectangular, en cada uno de sus extremos ( Fig. 4.24 ) va fijo un cilindro ( 6 ), siendo los ejes de éstos paralelos entre sí y también --

respecto a la superficie de placa o montaje ( 3 ), uno de los cilindros actúa como pivote de la placa, produciéndose un movimiento angular, y el otro como apoyo de los bloques patrón ( galgas ) para efectuar la medición. Todo el conjunto está acoplado sobre una base ( 5 ), que sirve como plano de referencia, su método de operación es igual a la de la regla de senos.

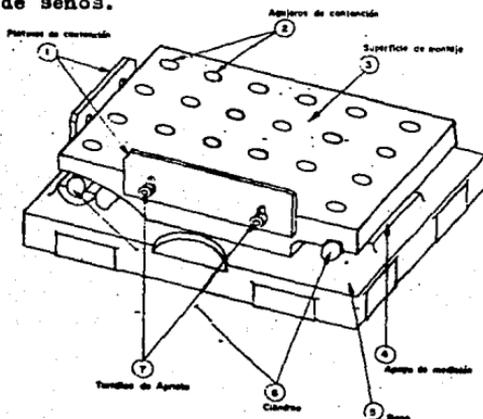


Fig. 4.24 Mesa de senos.

La mesa de senos es empleada para verificar conicidades exteriores y ángulos de piezas de gran precisión, incluso para generar ángulos. Es de uso imprescindible en la industria.

#### 4.2.1.7 Bolas y cilindros calibrados.

Son de acero al cromo, templados, rectificadas y pulimentadas.

Las bolas calibradas se emplean para verificar superficies cónicas de revolución interiores, auxiliándose de un micrómetro de profundidades, donde el objeto es obtener el semiángulo ( $\alpha/2$ ) mediante la fórmula ( 4.4 ).

$$\text{Sen } \frac{\alpha}{2} = \frac{R - r}{D} \dots\dots\dots ( 4.4 )$$

Donde: R = Radio de bola mayor.

r = " " " menor.

D = Valor obtenido por diferencia de magnitudes.

Los cilindros calibrados se emplean para verificar superficies cónicas de revolución exteriores, se auxilia con un micrómetro de exteriores, y se utiliza la fórmula ( 4.5 ) para el cálculo del semiángulo ( $\alpha/2$ ) es:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{M1 - M2}{2 (h1 - h2)} \dots\dots\dots ( 4.5 )$$

Donde: M1 y M2 = Magnitudes obtenidas directamente con micrómetro de exteriores.

h1 y h2 = Alturas de apilamientos formados con juego de bloques patrón ( galgas )

#### 4.2.1.8 Nivel burbuja de precisión.

Su composición y sus características se vieron en ( 4.1.1.3 ) cuando se describió el clinómetro, se utiliza como comparador o medidor de pendientes y como comprobador de horizontabilidad. Un modelo clásico se muestra en la Fig. 4.25

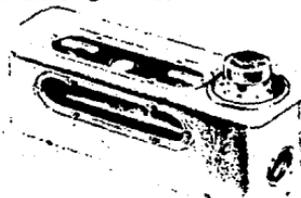


Fig. 4.25 Nivel de precisión.

#### 4.2.1.9 Patrones angulares.

Son semejantes a los bloques patrón en grado de precisión, forma de adherirlos, etc.

Por lo general vienen en juegos ( Fig. 4.26 ) con 30 piezas y con ellas se pueden obtener ángulos entre  $0^{\circ}$  y  $360^{\circ}$ . Teniendo la ventaja de realizar la adición y sustracción de medidas angulares.

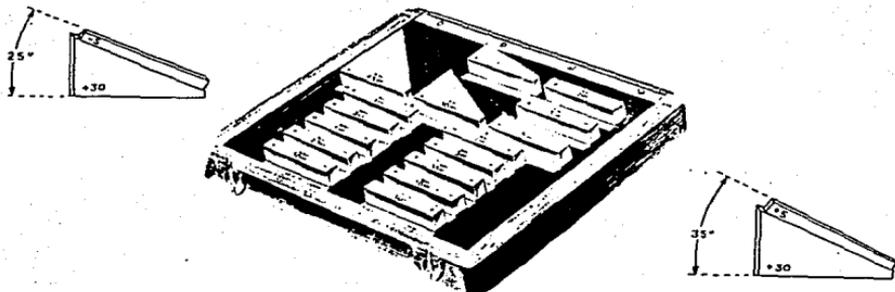


Fig. 4.26 Patrones angulares.

#### 4.2.1.10 Calibrador angular senométrico.

Es un aparato con indicador de carátula ( Fig. 4.27 ) que permite medir o verificar con rapidez y precisión toda clase de ángulos, su aproximación es de 30 segundos de arco por división de la carátula.



Fig. 4.27 Calibrador senométrico

#### 4.2.1.11 Bloques Mycil.

Son de acero templado y estabilizado que poseen un palpador orientable ( Fig. 4.28 a ), 3 de sus dimensiones son constantes según el tipo ( Fig. 4.28 b ). En su empleo es necesario contar con un micrómetro de exteriores y un juego de bloques patrón ( galgas ).

Según las necesidades que se tenga, se utilizan los siguientes tipos, refiriéndose a las cotas de la Fig. 4.28 b.

Tipo A.- Para utilizarlos con instrumentos manuales, tales como -

micrómetros y calibradores con vernier.

$K = 14 \text{ mm}$

$h = 5 \text{ mm}$

$H = 8 \text{ mm}$

$d = 6 \text{ mm}$

Tipo B.- Para utilizarlos con aparatos como comparadores con palpadores de 10 mm o más de diámetro.

$K = 20 \text{ mm}$

$h = 7 \text{ mm}$

$H = 11.5 \text{ mm}$

$d = 8 \text{ mm}$

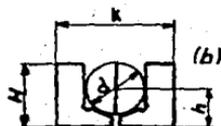


Fig. 4.28 Bloques mycil.

#### 4.2.2 Métodos para verificar ángulos.

4.2.2.1 Método empleando un transportador universal o goniómetro.- Se utiliza obviamente un transportador universal o goniómetro con legibilidad de 5 minutos. Y se procede de la siguiente manera:

Se toma el goniómetro con la mano izquierda ( Fig. 4.29 ) de tal forma que el soporte, en escuadra con la escala principal graduada apoye sobre los dedos. Se aflojan los tornillos de fijación de la regla y el nonio de tal forma que puedan deslizarse y girar respectivamente.

Con la mano derecha se toma la pieza a verificar y se coloca sobre el canto superior del soporte en escuadra, quedando ésta sujeta -- con la mano izquierda. Con la mano derecha se gira el nonio hasta que-

la regla haga contacto con la superficie a verificar, se aprietan los tornillos para fijar la medición. Finalmente por medio del cero del nonio se toma la lectura inmediata en la escala principal y se agrega la fracción que indique la coincidencia de trazo en el nonio con la escala principal.



Fig. 4.29 Modo de emplear un goniómetro

Simplemente como ilustración; suponiendo que la lectura en el método anterior fuese la que se muestra en la Fig. 4.30 que es de  $61^{\circ}45'$

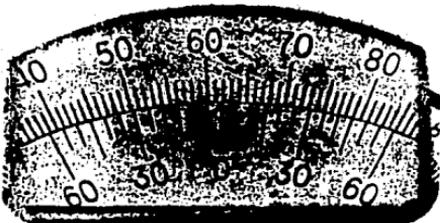


Fig. 4.30 Lectura con goniómetro.

4.2.2.2 Método empleando una regla de senos.- En este método de verificación se emplean: Una regla de senos de 5 pulgadas, un calibrador con vernier de alturas, un comparador de carátula, un mármol, juego de bloques patrón ( galgas ) y elementos de sujeción.

Tomando un calibre macho cónico como pieza a verificar, se procede de la siguiente manera:

Se coloca el calibre sobre la regla de senos, de modo que la parte cilíndrica llegue hasta el tope de la regla de senos, después de su jeter el calibre a la regla se colocan sobre un mármol. Se va elevando cuidadosamente la regla por uno de sus extremos, hasta que la superficie a verificar sea aproximadamente paralela a la superficie del mármol, se coloca un apilamiento formado por un juego de bloques patrón (galgas).

Con un comparador de carátula acoplado a un calibrador de alturas se debe de observar que no existan desviaciones en la superficie a verificar; si las hay se quitan o adicionan galgas en el apilamiento, -- hasta que la superficie a verificar sea perfectamente paralela a la -- del mármol, cumpliéndose esto, se retira el apilamiento de galgas y se adicionan sus valores de cota, el resultado es la elevación de la regla, teniendo este dato y el de la longitud de la regla (separación entre centros), se despeja de la ec. 4.3 obteniéndose así el ángulo verificado.

$$w = L ( \text{Sen } \alpha ) \dots\dots\dots ( 4.3 )$$

$$\text{Sen } \alpha = \frac{w}{L}$$

$$\alpha = \text{Arc sen} = \frac{w}{L}$$

4.2.2.3 Método empleando una mesa de senos.- Se utilizan una mesa de senos ( distancia entre centros 5 o 10 pulgadas ), un comparador de carátula acoplado a un calibrador de alturas, mármol, juego de bloques patrón ( galgas ) y elementos de sujeción.

Se coloca un bloque de compensación con el objeto de que la placa de montaje esté completamente horizontal. Se fija la pieza a la cual se va a verificar el ángulo ( en algunos casos es necesario utilizar banco entre puntos ) sobre la mesa de senos. Con los valores de distancia entre centros y el ángulo a verificar, que son conocidos, se obtiene por relación trigonométrica la altura, la cual debe satisfacer el -

paralelismo del mármol y la generatriz de la pieza a verificar. Obtenida la altura y representando su valor por medio de un apilamiento formado con un juego de bloques patrón ( galgas ) los cuales se colocan sobre el bloque de compensación, y se elevará la placa de montaje.

Usando el comparador acoplado al calibrador de alturas de tal manera que el palpador haga contacto con uno de los extremos de la generatriz. Se ajusta a cero el comparador, el cual se desplazará longitudinalmente hasta el otro extremo de la generatriz. Por último se observan las variaciones que se presenten, para quitar o aumentar galgas en el apilamiento, hasta cumplir con la condición de paralelismo. Anotando las variaciones que al momento de realizar los cálculos de comprobación no excedan la tolerancia fijada en el ángulo a verificar.

4.2.2.4 Método empleando bolas y cilindros calibrados.- Se emplean bolas y cilindros calibrados, mármol, micrómetros; para exteriores y profundidades.

Son muy empleados para verificar conos exteriores e interiores. Y para describir este método; es necesario basarse en ciertas figuras.

4.2.2.4.1 Para verificar el semiángulo en un cono interior.- Se coloca la pieza a verificar sobre el mármol, con su diámetro mayor hacia arriba, con un micrómetro de profundidades se mide (  $h$  ) - Fig. 4.31 -.

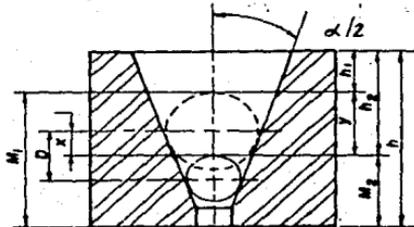


Fig. 4.31 Empleo de bolas calibradas.

Se introduce la bola de menor radio (  $r$  ), y con el micrómetro de profundidades se mide (  $h_2$  ). Se saca la bola calibrada anterior y se introduce la de mayor radio (  $R$  ) y se mide  $h_1$  con el micrómetro de --

profundidades.

Teniendo como datos:  $h$ ,  $h_1$  y  $h_2$ . Se obtienen las siguientes dimensiones:

$$M_1 = h - h_1 \quad M_2 = h - h_2 \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

Conociendo  $M_1$ ,  $M_2$  y los radios de las bolas calibradas ( $r$ ) y  $--$  ( $R$ ). Se obtienen los siguientes valores.

$$y = M_1 - M_2 \quad \dots \dots \dots (4.7)$$

$$x = y - R \quad \dots \dots \dots (4.8)$$

$$D = x + r \quad \dots \dots \dots (4.9)$$

Sustituyendo los valores de  $R$ ,  $r$  y (4.9) en la fórmula (4.4).

$$\text{Sen } \frac{\alpha}{2} = \frac{R - r}{D}$$

Finalmente se obtiene el valor del semiángulo .

$$\alpha/2 = \text{Arc sen en grados y minutos, con error máx } \pm 5'$$

4.2.2.4.2 Para verificar el semiángulo en un cono exterior.- En este caso se utilizan cilindros calibrados, y se procede de la siguiente manera:

Se coloca la pieza a verificar sobre el mármol con el diámetro mayor hacia arriba, con el juego de galgas se forman 2 apilamientos de la misma altura ( $h_2$ ) - Fig. 4.32 - se coloca un cilindro calibrado sobre cada apilamiento, con el micrómetro de exteriores se determina la magnitud  $M_2$ , con el mismo par de cilindros que se colocarán sobre otro par de apilamientos de altura  $h_1$  y nuevamente con el micrómetro de exteriores se mide la magnitud  $M_1$ .

Con los datos de las alturas de los apilamientos, y las magnitudes  $M_1$  y  $M_2$ . Se procede a realizar los siguientes cálculos:

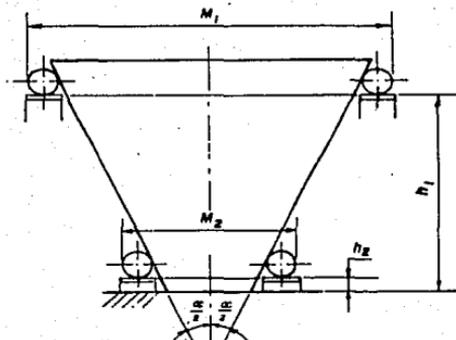


Fig. 4.32 Empleo de los cilindros calibrados  
 Conocidos  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $M_1$  y  $M_2$  se sustituyen sus valores en ( 4.5 ).

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{M_1 - M_2}{2(h_1 - h_2)}$$

De donde finalmente se determina el semiángulo.

$$\frac{\alpha}{2} = \text{Arc tan en grados y minutos, con error máx de } \pm 5'$$

4.2.2.5 Método empleando el microscopio de herramientas.- Es empleado para verificar pequeños ángulos, y el procedimiento se verá en verificación de roscas.

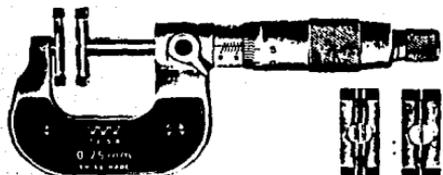
### 4.3 Verificación de roscas.

En la industria son muy empleados los elementos roscados, como -- tornillos, tuercas, etc. y debido a que son intercambiables en máqui-- nas, es importante llevar un Control de Calidad referente a sus magni-- tudes.

#### 4.3.1 Instrumentos para verificar roscas.

#### 4.3.1.1 Juego de alambres para cuerdas o roscas.

Cada juego consiste en 3 alambres, que generalmente son de acero al Cromo con tratamiento térmico, rectificadas y pulimentados. En algunos casos vienen sujetos en unas platinas ( Fig. 4.33 ) para acoplarse al micrómetro de exteriores, que en conjunto sirven para medir el diámetro de paso.



- Para medir diámetros de paso para cuerdas utiliza juego de alambres en micrómetro para exteriores
- Tolerancia de diámetro de alambres:  $\pm 2.5\mu$ m

D	Diámetro de alambres (mm.)
6.35mm	0.170, 0.195, 0.220, 0.250, 0.290
	0.335, 0.390, 0.455, 0.530, 0.620
8mm	0.725, 0.895, 1.100, 1.350, 1.650
	2.050, 2.550, 3.200

Fig. 4.33 Juego de alambres para roscas

#### 4.3.1.2 Micrómetro de exteriores para medición de roscas.

Este instrumento realiza lecturas directas del diámetro de paso, contiene puntas intercambiables ( tope "v" y husillo cónico ) y barra patrón de  $60^\circ$  para micrómetros de 50 mm ( 2 pulg. ) en adelante.

En la Fig. 4.34 se muestra un modelo de este tipo de micrómetros.



- Tipos intercambiables tope V y husillo cónico (opcional)
- Medición directa de Diámetro de paso
- Barra Patrón de  $60^\circ$  para micrómetros de 50 mm. (2") en adelante
- Graduación: 0.01mm (0.001")
- Embrague de matraca

Rango (mm)	Rango Pulg.
0- 25	0-1
25- 50	1-2
50- 75	2-3
75-100	3-4
100-125	4-5
125-150	5-6

##### Puntas intercambiables (opcional)



Métrico 60°	Unif. 60°
0.4-0.5	64-48
0.6-0.9	44-28
1-1.75	24-14
2-3	13-9
3.5-5	8-5
5.5-7	4.5-3.5
0.4-7	64-3.5

Fig. 4.34 Micrómetro de exteriores para roscas

#### 4.3.1.3 Microscopio de herramientas.

Es muy semejante al de taller, realiza mediciones de ángulos y --

longitudes pequeñas a base de lecturas diferenciales, mediante el uso de sus micrómetros de movimiento longitudinal, transversal y circular.

En la Fig. 4.35 se observa un microscopio de herramientas con sus partes principales.

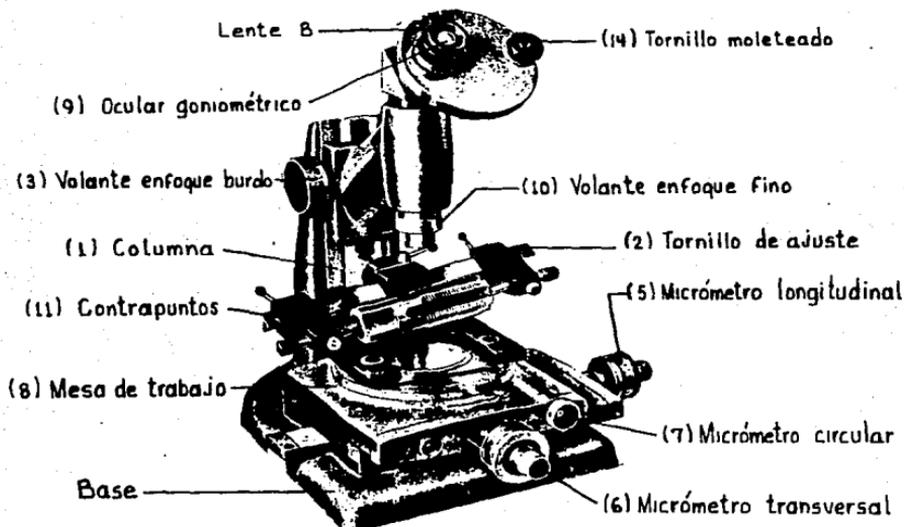


Fig. 4.35 Microscopio de herramientas

#### 4.3.1.4 Calibres pasa - no pasa.

Son empleados en la verificación de piezas fabricadas en serie.

Para verificar roscas internas se emplea el calibre de tapón o --tampón. Los cuales se fabrican en varios tamaños, dependiendo de las magnitudes que se van a verificar. Al extremo de la rosca más larga, se le llama calibre "pasa", mientras que al otro extremo se le conoce como calibre "no pasa" ( Fig. 4.36 ).

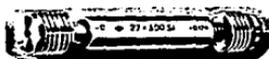


Fig. 4.36 Calibre para verificar roscas interiores

Para verificar roscas exteriores se utilizan calibres de anillo - los cuales son 2 ( Fig. 4.37 ), el calibre " no pasa " se identifica - por una ranura en la superficie superior del calibre.



Fig. 4.37 Calibre para roscas exteriores

#### 4.3.1.5 Calibre de rodillos para roscas.

Se utilizan para la verificación de roscas exteriores, su manejo es de mayor facilidad y rapidez que los calibres de tapón. El primer juego de rodillos forma el calibre " pasa " y el segundo el de " no pasa ", y tienen la ventaja de calibrarlos a varias magnitudes un modelo clásico se muestra en la Fig. 4.38



Fig. 4.38 Calibre de rodillos para roscas

### 4.3.2 Métodos para verificar roscas.

#### 4.3.2.1 Método de los 3 alambres.

Para llevar a cabo este método, se utiliza un juego de alambres para roscas y un micrómetro de exteriores.

Primero se identifica el tipo o forma de la rosca a verificarse, por medio de un gauge se determinan los hilos por pulgada ( H.P.P. ), con el dato de los ( H.P.P. ) seleccionar el diámetro de los alambres según la tabla IV.2 ( también se proporciona el paso ).

DIAMETRO DE LOS ALAMBRES DE RESISTOR 40 M M	ROSCA METRICA 10 Y 14 PASO P M M	ROSCA METRICA 14 Y 6 PASO P M M	ROSCA WHITWORTH DIN 11 FINA ROSCA WHITWORTH FINA DIN 220-440-880 (270, 577, 871) MILAS POR PULGADA	ROSCA DE LA SISTEMA BRITANICA (B.S.P.) PASO P M M	ROSCA AMERICANA U.S. STANDARD (A.S.P., A.S.P.) MILAS POR PULGADA	ROSCA FRANCESA DIN (20-320-370) PASO P M M			
0.17	0.25	0.3	0.35		0.28				
0.195 <sup>n</sup>				0.31	0.35	80			
0.22	0.25	0.35		0.35	0.39	72			
0.25	0.4			0.43		64			
0.29	0.45	0.5	0.5	0.48	0.53	56			
0.335	0.6			0.53	0.59	48			
0.39 <sup>n</sup>				0.66	0.6	40			
0.455	0.7	0.75	0.8	0.73	0.81	36			
0.53	0.9		30	0.90	38	28			
0.62	1.0	1.0	26	1.00					
0.725	1.25		22	20	19	24	20		
0.845 <sup>n</sup>	1.5	1.5	18	16		18			
1.1	1.75		16		16	14	13	8	
1.35	2.0	2.0	12	11		12	11		
1.65	2.5		10	9		10	9	3	
2.05	3.0	3.5	3.0	8	7	8	7	4	
2.55	4.0	4.5	4.0	6		6	5	3	
3.2	5.0	5.5		5	4½	5	4½	6	
4.0	6.0			4	3½	4	3½	7	8
5.05			3½, 3, 2½, 2½					9	10
6.35			2½, 2½						12

Tabla IV.2

Dos de los alambres se colocan entre los flancos del elemento rosado a verificar y el palpador fijo del micrómetro de exteriores, el otro alambre debe de estar en contacto con el palpador móvil ( Fig. 4.39 ).

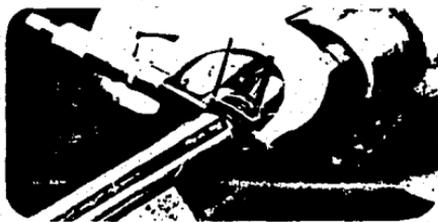


Fig. 4.39 Método de los 3 alambres

Antes de registrar la medición con el micrómetro de exteriores, -  
teniendo cuidado de que se adopte la posición correcta ( Fig. 4.40 ), -  
observando que el eje del elemento roscado a verificar sea perpendicular  
al eje del micrómetro de exteriores.

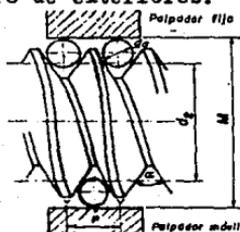


Fig. 4.40 Posición correcta de alambres y micrómetro de ext.

La medición que se obtiene es el valor  $M$  ( Fig. 4.40 ). Se reco-  
mienda realizar 3 o más lecturas en diferentes puntos y obtener el pro-  
medio, el paso y el ángulo de los flancos pueden darse como datos, en-  
caso contrario se miden con ayuda del microscopio de herramientas.

Con los valores anteriores se determina el diámetro en los flan-  
cos ( llamado también diámetro medio, primitivo o de paso ) con la ---  
ecuación ( 4.10 ).

$$d_2 = M + \frac{P}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} - d_a \left[ 1 + \frac{1}{\operatorname{Sen} \frac{\alpha}{2}} \right] \dots \dots \dots ( 4.10 )$$

Donde:

$d_2$  = diámetro en los flancos.

$M$  = medición entre alambres.

$d_a$  = diámetro de los alambres.

$P$  = paso de la rosca.

$\alpha$  = ángulo en los flancos.

La ec. 4.10 se modifica con 2 constantes:  $k_2$  debida a la deforma-  
ción elástica de los alambres y  $k_1$  a su oblicuidad con respecto al eje  
del elemento roscado.

$$k_1 = \frac{d_a}{2} \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \cot \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots (4.11)$$

$k_1$  se puede despreciar cuando el ángulo  $\varphi$  de la inclinación de la hélice media es menor de  $2^\circ$ , es decir cuando se trata de roscas de paso fino.

$k_2$  según Bernát tiene los siguientes valores ( 1 kg de presión en los alambres de la medición ).

2.5 a 0.6  $\mu$  para diámetros de rosca de 4 a 150 mm.

4 a 2.5  $\mu$  " " " " " 1 a 4 mm.

Quedando la ec. ( 4.10 ) de la siguiente manera:

$$d_2 = M + \frac{P}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} - d_a \left[ 1 + \frac{1}{\operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}} \right] + k_2 - k_1 \dots\dots (4.12)$$

Obteniéndose así una medición ( del diámetro en los flancos ) de alta precisión. Y finalmente, el resultado calculado se compara con el valor establecido por las normas correspondientes, determinándose si está dentro o fuera de especificaciones, consultando las tablas IV.3 y IV.4

Roscas para tornillos de alta resistencia (Todas las dimensiones en pulgadas).

Tamaño	Clase de rosca	Resistencia mínima	Resistencia máxima	Tolerancia sobre el diámetro mayor	Tolerancia sobre el diámetro menor	Tolerancia sobre el diámetro nominal	Tolerancia sobre el diámetro menor	Tolerancia sobre el diámetro mayor	Tolerancia sobre el diámetro nominal	Tolerancia sobre el diámetro menor	Tolerancia sobre el diámetro mayor
1/4	8	0.004	0.140	0.017	0.165	0.020	0.177	0.020	0.210	0.021	0.0036
3/8	10	0.011	0.214	0.022	0.238	0.025	0.252	0.025	0.310	0.026	0.0041
1/2	13	0.015	0.277	0.030	0.321	0.035	0.332	0.035	0.410	0.037	0.0048
5/8	16	0.021	0.330	0.042	0.380	0.048	0.388	0.048	0.470	0.050	0.0056
3/4	18	0.027	0.393	0.054	0.463	0.062	0.464	0.062	0.560	0.065	0.0064
7/8	20	0.033	0.456	0.066	0.546	0.075	0.545	0.075	0.660	0.078	0.0072
1	22	0.039	0.519	0.078	0.629	0.089	0.628	0.089	0.760	0.092	0.0081
1 1/8	24	0.045	0.582	0.090	0.702	0.101	0.701	0.101	0.840	0.104	0.0090
1 1/4	26	0.051	0.645	0.102	0.782	0.113	0.781	0.113	0.930	0.116	0.0099
1 3/8	28	0.057	0.708	0.114	0.862	0.125	0.861	0.125	1.080	0.128	0.0108
1 1/2	30	0.063	0.771	0.126	0.942	0.137	0.941	0.137	1.190	0.140	0.0117
1 5/8	32	0.069	0.834	0.138	1.022	0.149	1.021	0.149	1.310	0.152	0.0126
1 3/4	34	0.075	0.897	0.150	1.102	0.161	1.101	0.161	1.430	0.164	0.0135
1 7/8	36	0.081	0.960	0.162	1.182	0.173	1.181	0.173	1.550	0.176	0.0144
2	38	0.087	1.023	0.174	1.262	0.185	1.261	0.185	1.670	0.188	0.0153
2 1/8	40	0.093	1.086	0.186	1.342	0.197	1.341	0.197	1.790	0.200	0.0162
2 1/4	42	0.099	1.149	0.198	1.422	0.209	1.421	0.209	1.910	0.212	0.0171
2 3/8	44	0.105	1.212	0.210	1.502	0.221	1.501	0.221	2.030	0.224	0.0180
2 1/2	46	0.111	1.275	0.222	1.582	0.233	1.581	0.233	2.150	0.236	0.0189
2 5/8	48	0.117	1.338	0.234	1.662	0.245	1.661	0.245	2.270	0.248	0.0198
2 3/4	50	0.123	1.401	0.246	1.742	0.257	1.741	0.257	2.390	0.260	0.0207
2 7/8	52	0.129	1.464	0.258	1.822	0.269	1.821	0.269	2.510	0.272	0.0216
3	54	0.135	1.527	0.270	1.902	0.281	1.901	0.281	2.630	0.284	0.0225
3 1/8	56	0.141	1.590	0.282	1.982	0.293	1.981	0.293	2.750	0.296	0.0234
3 1/4	58	0.147	1.653	0.294	2.062	0.305	2.061	0.305	2.870	0.308	0.0243
3 3/8	60	0.153	1.716	0.306	2.142	0.317	2.141	0.317	2.990	0.320	0.0252
3 1/2	62	0.159	1.779	0.318	2.222	0.329	2.221	0.329	3.110	0.332	0.0261
3 5/8	64	0.165	1.842	0.330	2.302	0.341	2.301	0.341	3.230	0.344	0.0270
3 3/4	66	0.171	1.905	0.342	2.382	0.353	2.381	0.353	3.350	0.356	0.0279
3 7/8	68	0.177	1.968	0.354	2.462	0.365	2.461	0.365	3.470	0.368	0.0288
4	70	0.183	2.031	0.366	2.542	0.377	2.541	0.377	3.590	0.380	0.0297
4 1/8	72	0.189	2.094	0.378	2.622	0.389	2.621	0.389	3.710	0.382	0.0306
4 1/4	74	0.195	2.157	0.390	2.702	0.401	2.701	0.401	3.830	0.384	0.0315
4 3/8	76	0.201	2.220	0.402	2.782	0.413	2.781	0.413	3.950	0.386	0.0324
4 1/2	78	0.207	2.283	0.414	2.862	0.425	2.861	0.425	4.070	0.388	0.0333
4 5/8	80	0.213	2.346	0.426	2.942	0.437	2.941	0.437	4.190	0.390	0.0342
4 3/4	82	0.219	2.409	0.438	3.022	0.449	3.021	0.449	4.310	0.392	0.0351
4 7/8	84	0.225	2.472	0.450	3.102	0.461	3.101	0.461	4.430	0.394	0.0360
5	86	0.231	2.535	0.462	3.182	0.473	3.181	0.473	4.550	0.396	0.0369
5 1/8	88	0.237	2.598	0.474	3.262	0.485	3.261	0.485	4.670	0.398	0.0378
5 1/4	90	0.243	2.661	0.486	3.342	0.497	3.341	0.497	4.790	0.400	0.0387
5 3/8	92	0.249	2.724	0.498	3.422	0.509	3.421	0.509	4.910	0.402	0.0396
5 1/2	94	0.255	2.787	0.510	3.502	0.521	3.501	0.521	5.030	0.404	0.0405
5 5/8	96	0.261	2.850	0.522	3.582	0.533	3.581	0.533	5.150	0.406	0.0414
5 3/4	98	0.267	2.913	0.534	3.662	0.545	3.661	0.545	5.270	0.408	0.0423
5 7/8	100	0.273	2.976	0.546	3.742	0.557	3.741	0.557	5.390	0.410	0.0432

Tabla IV.3

ROSCAS PARA TORNEO DE ALTA RESISTENCIA (Todas las dimensiones en pulgadas).

Tamaño	MAYOR DIA EXTERNO	DIAMETRO INTERNO	DIAMETRO MENOR	TOLERANCIA SOBRE EL DIAMETRO MENOR	DIAMETRO INTERNO MÍNIMO	TOLERANCIA SOBRE EL DIAMETRO INTERNO MÍNIMO	DIAMETRO MENOR MÍNIMO	TOLERANCIA SOBRE EL DIAMETRO MENOR MÍNIMO	DIAMETRO MENOR	DIAMETRO MENOR MÍNIMO DE LA "CUELLO"	TOLERANCIA SOBRE EL DIAMETRO MENOR MÍNIMO DE LA "CUELLO"	DIAMETRO DE LA TACADA	TOLERANCIA SOBRE EL DIAMETRO DE LA TACADA	DIAMETRO DE LA TACADA MÍNIMO DE LA TACADA	TOLERANCIA SOBRE EL DIAMETRO DE LA TACADA MÍNIMO DE LA TACADA
1/8	0.375	0.281	0.250	±0.005	0.250	±0.005	0.250	±0.005	0.250	0.250	±0.005	0.250	±0.005	0.250	±0.005
3/16	0.437	0.312	0.281	±0.005	0.281	±0.005	0.281	±0.005	0.281	0.281	±0.005	0.281	±0.005	0.281	±0.005
1/4	0.500	0.375	0.344	±0.005	0.344	±0.005	0.344	±0.005	0.344	0.344	±0.005	0.344	±0.005	0.344	±0.005
5/16	0.562	0.437	0.406	±0.005	0.406	±0.005	0.406	±0.005	0.406	0.406	±0.005	0.406	±0.005	0.406	±0.005
3/8	0.625	0.500	0.469	±0.005	0.469	±0.005	0.469	±0.005	0.469	0.469	±0.005	0.469	±0.005	0.469	±0.005
7/16	0.687	0.562	0.531	±0.005	0.531	±0.005	0.531	±0.005	0.531	0.531	±0.005	0.531	±0.005	0.531	±0.005
1/2	0.750	0.625	0.594	±0.005	0.594	±0.005	0.594	±0.005	0.594	0.594	±0.005	0.594	±0.005	0.594	±0.005
9/16	0.812	0.687	0.656	±0.005	0.656	±0.005	0.656	±0.005	0.656	0.656	±0.005	0.656	±0.005	0.656	±0.005
5/8	0.875	0.750	0.719	±0.005	0.719	±0.005	0.719	±0.005	0.719	0.719	±0.005	0.719	±0.005	0.719	±0.005
11/16	0.937	0.812	0.781	±0.005	0.781	±0.005	0.781	±0.005	0.781	0.781	±0.005	0.781	±0.005	0.781	±0.005
3/4	1.000	0.875	0.844	±0.005	0.844	±0.005	0.844	±0.005	0.844	0.844	±0.005	0.844	±0.005	0.844	±0.005

SE DEBE USAR LA FORMA ESTÁNDAR AMERICANA. LAS TOLERANCIAS SOBRE EL DIAMETRO EN LOS PLACOS INCLUYEN LOS ERRORES DEL HAZO Y EL ARREDO. LOS DIAMETROS EN LOS PLACOS MAYORES DE LOS TORNELOS SON MENORES EN ESTOS CONTADORES QUE LOS DIAMETROS EN LOS PLACOS MÍNIMOS DE LOS TORNELOS.

Tabla IV. 3 ( continuación ).

ROSCAS METRIC ISO  
(NF E 03 - 001)

LA DESIGNACION DE UNA ROSCA ISO SE HACE DE LA SIGUIENTE MANERA: EL DIAMETRO (en milímetros) del diámetro nominal, y del paso, con símbolo MB si es 2.5 o MB.



Diámetro nominal	Paso	Diámetro menor	Diámetro menor mínimo	Diámetro menor máximo	Diámetro menor mínimo de la "cuello"	Diámetro menor máximo de la "cuello"	Diámetro menor mínimo de la "cuello"	Diámetro menor máximo de la "cuello"	Diámetro menor mínimo de la "cuello"	Diámetro menor máximo de la "cuello"	Diámetro menor mínimo de la "cuello"	Diámetro menor máximo de la "cuello"	Diámetro menor mínimo de la "cuello"	Diámetro menor máximo de la "cuello"	Diámetro menor mínimo de la "cuello"	Diámetro menor máximo de la "cuello"
1.6	0.35	1.25	1.175	1.25	1.175	1.175	1.175	1.175	1.175	1.175	1.175	1.175	1.175	1.175	1.175	1.175
2	0.4	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
2.5	0.45	2.05	1.9	2.05	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
3	0.5	2.5	2.375	2.5	2.375	2.375	2.375	2.375	2.375	2.375	2.375	2.375	2.375	2.375	2.375	2.375
4	0.5	3.5	3.25	3.5	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
5	0.5	4.5	4.25	4.5	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25
6	0.5	5.5	5.25	5.5	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
8	0.5	7.5	7.25	7.5	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25
10	0.5	9.5	9.25	9.5	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25
12	0.5	11.5	11.25	11.5	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25
16	0.5	15.5	15.25	15.5	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25
20	0.5	19.5	19.25	19.5	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25	19.25
25	0.5	24.5	24.25	24.5	24.25	24.25	24.25	24.25	24.25	24.25	24.25	24.25	24.25	24.25	24.25	24.25
32	0.5	31.5	31.25	31.5	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25
40	0.5	39.5	39.25	39.5	39.25	39.25	39.25	39.25	39.25	39.25	39.25	39.25	39.25	39.25	39.25	39.25
50	0.5	49.5	49.25	49.5	49.25	49.25	49.25	49.25	49.25	49.25	49.25	49.25	49.25	49.25	49.25	49.25
63	0.5	62.5	62.25	62.5	62.25	62.25	62.25	62.25	62.25	62.25	62.25	62.25	62.25	62.25	62.25	62.25
80	0.5	79.5	79.25	79.5	79.25	79.25	79.25	79.25	79.25	79.25	79.25	79.25	79.25	79.25	79.25	79.25
100	0.5	99.5	99.25	99.5	99.25	99.25	99.25	99.25	99.25	99.25	99.25	99.25	99.25	99.25	99.25	99.25
125	0.5	124.5	124.25	124.5	124.25	124.25	124.25	124.25	124.25	124.25	124.25	124.25	124.25	124.25	124.25	124.25
160	0.5	159.5	159.25	159.5	159.25	159.25	159.25	159.25	159.25	159.25	159.25	159.25	159.25	159.25	159.25	159.25
200	0.5	199.5	199.25	199.5	199.25	199.25	199.25	199.25	199.25	199.25	199.25	199.25	199.25	199.25	199.25	199.25
250	0.5	249.5	249.25	249.5	249.25	249.25	249.25	249.25	249.25	249.25	249.25	249.25	249.25	249.25	249.25	249.25
315	0.5	314.5	314.25	314.5	314.25	314.25	314.25	314.25	314.25	314.25	314.25	314.25	314.25	314.25	314.25	314.25
400	0.5	399.5	399.25	399.5	399.25	399.25	399.25	399.25	399.25	399.25	399.25	399.25	399.25	399.25	399.25	399.25
500	0.5	499.5	499.25	499.5	499.25	499.25	499.25	499.25	499.25	499.25	499.25	499.25	499.25	499.25	499.25	499.25
630	0.5	629.5	629.25	629.5	629.25	629.25	629.25	629.25	629.25	629.25	629.25	629.25	629.25	629.25	629.25	629.25
800	0.5	799.5	799.25	799.5	799.25	799.25	799.25	799.25	799.25	799.25	799.25	799.25	799.25	799.25	799.25	799.25
1000	0.5	999.5	999.25	999.5	999.25	999.25	999.25	999.25	999.25	999.25	999.25	999.25	999.25	999.25	999.25	999.25

Las tolerancias en los diámetros nominales son de ±0.005 mm para los diámetros nominales de 1.6 mm a 3 mm, de ±0.0075 mm para los diámetros nominales de 3 mm a 5 mm, de ±0.01 mm para los diámetros nominales de 5 mm a 10 mm, de ±0.015 mm para los diámetros nominales de 10 mm a 20 mm, de ±0.02 mm para los diámetros nominales de 20 mm a 50 mm, de ±0.03 mm para los diámetros nominales de 50 mm a 100 mm, de ±0.04 mm para los diámetros nominales de 100 mm a 200 mm, de ±0.05 mm para los diámetros nominales de 200 mm a 500 mm, de ±0.06 mm para los diámetros nominales de 500 mm a 1000 mm.

Tabla IV. 4

#### 4.3.2.2 Método de la "v" y la entalla.

Se emplea un micrómetro de exteriores para medición de roscas, el cual se muestra en la Fig. 4.34

Este método consiste en determinar el diámetro en los flancos, el procedimiento es el que sigue:

Se adaptan los topes especiales ( en forma de "v" macho y hembra) en los palpadores del micrómetro. El calibrado se realiza mediante un calibre especial ( Fig. 4.41 ), dependiendo que tipo de rosca se va a verificar.

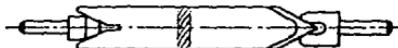


Fig. 4.41 Calibre para topes especiales

Es muy importante que se usen topes de flancos recortados, para que éstos hagan contacto lo más cerca posible de la generatriz que define el ángulo en los flancos, y así evitar errores de ángulo de los topes y de los flancos del filete, los topes deben estar tratados térmicamente para evitar una deformación elástica al ejercer presión sobre las roscas a medir o verificar.

La manera más recomendable para realizar la medición es la que se muestra en la Fig. 4.42 observando el resultado de la lectura en las escalas del micrómetro correspondiente.

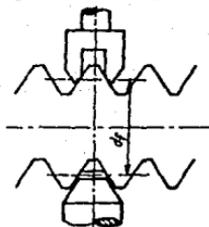


Fig. 4.42

#### 4.3.2.3 Método empleando el microscopio de herramientas.

Lógicamente en este método se utiliza un microscopio de herramientas.

Para medir el paso es necesario manipular un tornillo moleteado - ( 14 ) correspondiente a la Fig. 4.35, se hace coincidir uno de los ejes de líneas continuas  $R_1$  ( Fig. 4.43 ) contenidas en el ocular goniométrico ( 9 ) - Fig. 4.35 -, con el perfil de un flanco, se toma una lectura inicial haciendo uso del micrómetro de movimiento longitudinal ( 5 ) - Fig. 4.35 -, se desplaza la pieza a medir hasta que el eje de referencia  $R_1$  coincida con el perfil del flanco inmediato siguiente, tomándose ahora una segunda lectura ( lectura final ).

El paso de la rosca a medir o verificar es la diferencia de las 2 lecturas anteriores.

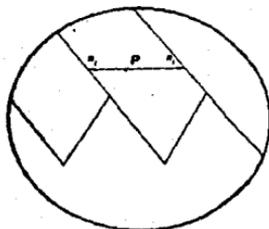


Fig. 4.43 Medición del paso

Para medir el ángulo entre flancos también se utiliza el tornillo moleteado ( 14 - Fig. 4.35 - ), haciendo coincidir la línea continua de referencia  $R_1$  ( Fig. 4.44 ) contenida en el ocular goniométrico con uno de los flancos de la rosca a medir, tomándose la lectura en el lente "B" ( Fig. 4.35 ), con el mismo tornillo moleteado se hace girar el eje de referencia  $R_1$  hasta hacerlo coincidir con el flanco inmediato -

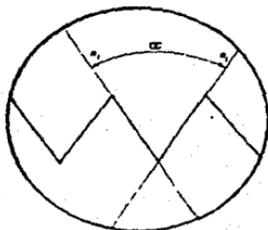


Fig. 4.44 Medición del ángulo entre flancos

siguiente, tomándose la lectura final en el lente "B" ( Fig. 4.35 ).

La diferencia de las 2 lecturas será el ángulo entre flancos de la rosca a medir o verificar.

Para medir el diámetro de los flancos se hace coincidir uno de los flancos de la rosca con la línea de referencia en " cruz " ( Fig. 4.45 ), y se mide el desplazamiento AB mediante el micrómetro de movimiento transversal ( 6 - Fig. 4.35 - ), por la diferencia de lecturas se obtiene el diámetro de los flancos.

Pero para que sea la medición de precisión rigurosa es necesario auxiliarse de un palpador biselado ( Fig. 4.46 ) provisto de una línea de referencia paralela a la arista, que materializa el perfil del filete. La arista biselada toma en efecto contacto con el flanco de la rosca, el ocular goniométrico se enfoca sobre la línea de referencia, paralela al flanco del filete, la medición se realiza como se señala en la Fig. 4.45

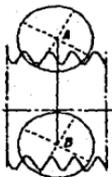


Fig. 4.45

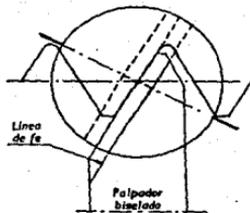


Fig. 4.46

#### 4.3.2.4 Método empleando calibres pasa - no pasa.

Se utilizan calibres pasa - no pasa, de tapón y anillo.

Para verificar roscas internas se emplea el calibre de tapón y se procede de la siguiente manera:

Se introducen ambos extremos del calibre; si la rosca a verificar está dentro del intervalo de tolerancia del calibre, el extremo "pasa" debe entrar hasta el fondo de la rosca a verificar, mientras que el extremo "no pasa" solo debe comenzar a entrar a la rosca a verificar y - apretarse en no más de 3 vueltas. Nunca debe forzarse el calibre en la

a verificar.

Para verificar roscas externas se utilizan calibres de anillo. El calibre de anillo "pasa" debe entrar completamente en la rosca a verificar, mientras que el calibre anillo "no pasa" no debe entrar más de  $1\frac{1}{2}$  vueltas en la rosca que se está verificando.

#### 4.4 Verificación de engranes.

##### 4.4.1 Instrumentos para verificar engranes.

###### 4.4.1.1 Calibrador con vernier de módulos.

Se conoce también como calibrador para dientes de engranes. Está formado por 2 reglas A y B ( Fig. 4.47 ), las cuales forman un ángulo recto entre sí, 2 nonios o verier (c) uno para cada regla, los cuales están acoplados por medio de abrazaderas (d) y cuentan con tornillos de fijación (k) y (g), el vernier que se encuentra verticalmente tiene una platina (j) que sirve como tope cuando haga contacto con la superficie superior del diente del engrane, es empleado para la medición o verificación del grueso del diente o cuerda.

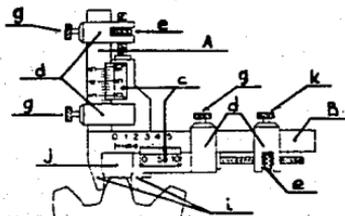


Fig. 4.47 Calibrador con vernier de módulos

###### 4.4.1.2 Pernos o alambres para engranes.

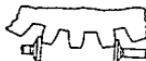
Llamados también rodillos cilíndricos para engranes. Son de acero templados y calibrados a 0.001 mm, para utilizarlos es necesario auxiliarse de un micrómetro de exteriores.

#### 4.4.1.3 Micrómetro para exteriores con topes de disco.

Se emplea para la medición del grueso del diente sobre varios dientes ( Fig. 4.48 )



- Puede medir engranes de módulo 0.5 hasta 6.
- Graduación: 0.01 mm. (.001")
- Engranaje de matraca



Rango	Rango
0-25mm	0-1"
25-50mm	1-2"
50-75mm	2-3"
75-100mm	3-4"
100-125mm	4-5"
125-150mm	5-6"
150-175mm	6-7"
175-200mm	7-8"

Fig. 4.48 Micrómetro para exteriores con topes de disco

#### 4.4.1.4 Proyector de perfiles.

El proyector de perfiles ( Fig. 4.49 ) está diseñado para la medición y/o verificación de piezas mediante su proyección.

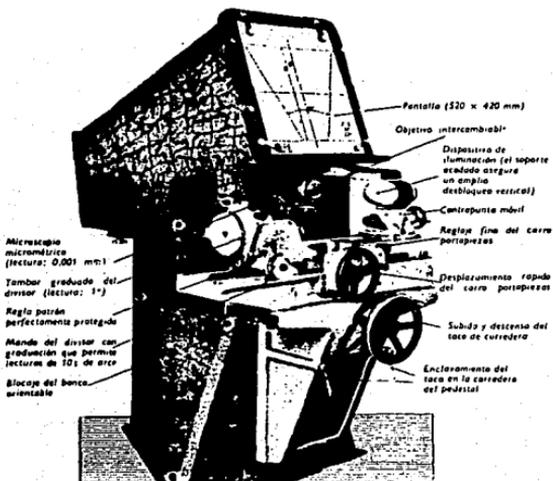
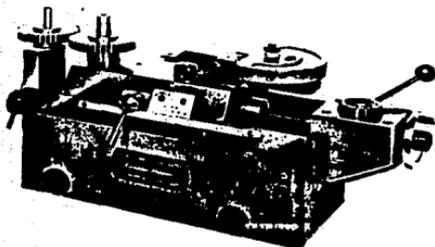


Fig. 4.49 Proyector de perfiles.

#### 4.4.1.5 Máquina para verificar la rodadura de engranes.

Se trata de una máquina verificadora ( Fig. 4.50 ) sensibilísima para ruedas de precisión de dentado fino, la cual permite determinar variaciones de la distancia entre ejes debido a errores de concentricidad y de engrane, valiéndose de un comparador o aparatos de registro con una precisión de 0.001 mm. Realiza la verificación de errores compuestos de engranajes a dientes rectos o inclinados con la ayuda de -- sin-fin o rueda maestra. Presión de medición variable de 85 a 900 g.



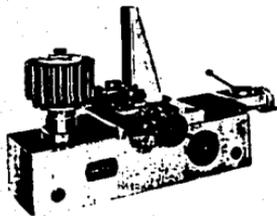
<b>Capacidad:</b>	
Entro-eje máximo . . . . .	100 mm
Entre-eje mínimo . . . . .	32 mm
Entre-eje mínimo con prolongación del carro de medición . . . . .	13 mm
Diámetro máximo de rueda . . . . .	103 mm
Módulos . . . . .	0,15-1,5
Peso de expedición, incl. accesorios . . . . .	75 kg
Cubicación para el embarque . . . . .	0,17 m <sup>3</sup>

**Aplicaciones:**  
Ruedas dentadas y piñones para instrumentos, contadores, sistemas de control por radar, telemando de armas, aparatos electrónicos.

Fig. 4.50 Máquina para verificar la rodadura de engranes

#### 4.4.1.6 Máquina para verificar los flancos de engranes de envolvente.

Sirve para determinar con precisión la forma de los flancos de -- dientes ( Fig. 4.51 ), con auxilio de discos de círculo básico. Posee accesorios; para la verificación de la dirección de los dientes, para examinar la división de los engranajes.



**Aplicaciones:**  
Ruedas dentadas para mecanismos propulsores de automóviles y aviones, motores de combustión, bombas de engranaje etc.

<b>Capacidad:</b>	
Diámetro máximo del círculo base . . . . .	405 mm
Diámetro mínimo del círculo base . . . . .	25 mm
Diámetro máximo de la rueda dentada con el suplemento de puntas . . . . .	305 mm
Largo máximo del vástago o del mandril . . . . .	305 mm
Módulos . . . . .	0,6-6
Ajuste vertical de la punta palpadora . . . . .	250 mm
Peso máximo de la pieza . . . . .	68 kg

Fig. 4.51 Máquina para verificar los flancos de engranes de envolvente

#### 4.4.1.7 Máquina para verificar la inclinación de los engranes.

Esta máquina verficadora ( Fig. 4.52 ) permite determinar median<sup>te</sup> bloques extremos, previo ajuste de una regla de senos, los errores en la dirección de los dientes. La punta palpadora efectúa un movimiento vertical correspondiente al paso teórico, mientras gira la pieza. - El movimiento giratorio es provocado por cintas rotatorias y un carro-transversal. Los errores son indicados por un comparador o registradores electrónicos.

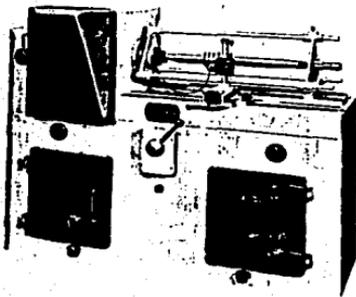


Capacidad:	
Angulo de inclinación . . . . .	0-45 °
Diámetro de la rueda . . . . .	40-305 mm
Anchura entre las puntas . . . . .	0-254 mm
Máxima carrera de medición . . . . .	25 mm
Peso admisible de la pieza . . . . .	45 kg
Módulos, aproximadamente . . . . .	1,25-6
Peso de expedición, incl. accesorios . . . . .	150 kg
Cubicación para el embarque . . . . .	1 m <sup>3</sup>

Fig. 4.52 Máquina para verificar la inclinación de los engranes

#### 4.4.1.8 Máquina para verificar el paso.

Esta máquina verficadora ( Fig. 4.53 ) permite comprobar de mane<sup>ra</sup> precisa todos los pasos posibles entre 0 e infinito en una longitud de 127 mm. El ajuste del paso se realiza con la ayuda de una escala de cristal y de un sistema óptico. Para los registros de los valores medid<sup>os</sup> tiene adaptados aparatos electrónicos.



Capacidad:	
Alcance de la verificación de los pasos . . . . .	0-Infinito
Diámetro máximo en el plato . . . . .	355 mm
Diámetro máximo entre puntas . . . . .	203 mm
Distancia máxima de las puntas . . . . .	560 mm
Movimiento axial del porta-pieza (recorrido de medición) . . . . .	76 mm
Peso admisible de la pieza: montada en el plato . . . . .	22 kg
montada entre puntas . . . . .	45 kg
Peso de expedición, incl. accesorios . . . . .	1000 kg
Volumen para el embarque . . . . .	2,85 m <sup>3</sup>

Fig. 4.53 Máquina para verificar el paso

## 4.4.2 Métodos para verificar engranes.

## 4.4.2.1 Método empleando el calibrador con vernier de módulos.

En este método se utiliza el calibrador con vernier de módulos.

Se comienza midiendo el diámetro exterior del engrane, se cuentan el número de dientes del engrane, y se sustituyen en las ecs. 4.13 y - 4.14 dependiendo del sistema en que se esté trabajando.

$$Pd = \frac{z + 2}{D \text{ ext}} \dots\dots\dots (4.13)$$

$$M = \frac{D \text{ ext}}{z + 2} \dots\dots\dots (4.14)$$

Donde: Pd = Paso diametral.

M = Módulo.

Obtenidos el Pd y M, se busca el valor más aproximado a los que se muestran en la Tabla IV.5 ( de Pd y M normalizados )

MÓDULOS			PASOS DIAMETRALES	
I	II	III	I	II
1	1.25		20	10
1.50	1.575		18	10
2	1.75		18	11
2.5	2.00		18	9
3	2.25		9	7
3.5	2.5	(1.25)	9	5.5
4	2.75	(1.75)	9	4.5
4.5	3.0		9	3.5
5	3.25		3	2.75
5.5	3.5		2.50	2.25
6	3.75	(0.5)	2	1.75
6.5	4.0		1.50	
7	4.25		1.25	
7.5	4.5		1	0.75
8	4.75		0.75	0.50
8.5	5.0		0.50	0.5
9	5.25			
9.5	5.5			
10	5.75			
10.5	6.0			
11	6.25			
11.5	6.5			
12	6.75			
12.5	7.0			
13	7.25			
13.5	7.5			
14	7.75			
14.5	8.0			
15	8.25			
15.5	8.5			
16	8.75			
16.5	9.0			
17	9.25			
17.5	9.5			
18	9.75			
18.5	10.0			
19	10.25			
19.5	10.5			
20	10.75			
20.5	11.0			
21	11.25			
21.5	11.5			
22	11.75			
22.5	12.0			
23	12.25			
23.5	12.5			
24	12.75			
24.5	13.0			
25	13.25			
25.5	13.5			
26	13.75			
26.5	14.0			
27	14.25			
27.5	14.5			
28	14.75			
28.5	15.0			
29	15.25			
29.5	15.5			
30	15.75			
30.5	16.0			
31	16.25			
31.5	16.5			
32	16.75			
32.5	17.0			
33	17.25			
33.5	17.5			
34	17.75			
34.5	18.0			
35	18.25			
35.5	18.5			
36	18.75			
36.5	19.0			
37	19.25			
37.5	19.5			
38	19.75			
38.5	20.0			
39	20.25			
39.5	20.5			
40	20.75			
40.5	21.0			
41	21.25			
41.5	21.5			
42	21.75			
42.5	22.0			
43	22.25			
43.5	22.5			
44	22.75			
44.5	23.0			
45	23.25			
45.5	23.5			
46	23.75			
46.5	24.0			
47	24.25			
47.5	24.5			
48	24.75			
48.5	25.0			
49	25.25			
49.5	25.5			
50	25.75			
50.5	26.0			
51	26.25			
51.5	26.5			
52	26.75			
52.5	27.0			
53	27.25			
53.5	27.5			
54	27.75			
54.5	28.0			
55	28.25			
55.5	28.5			
56	28.75			
56.5	29.0			
57	29.25			
57.5	29.5			
58	29.75			
58.5	30.0			
59	30.25			
59.5	30.5			
60	30.75			
60.5	31.0			
61	31.25			
61.5	31.5			
62	31.75			
62.5	32.0			
63	32.25			
63.5	32.5			
64	32.75			
64.5	33.0			
65	33.25			
65.5	33.5			
66	33.75			
66.5	34.0			
67	34.25			
67.5	34.5			
68	34.75			
68.5	35.0			
69	35.25			
69.5	35.5			
70	35.75			
70.5	36.0			
71	36.25			
71.5	36.5			
72	36.75			
72.5	37.0			
73	37.25			
73.5	37.5			
74	37.75			
74.5	38.0			
75	38.25			
75.5	38.5			
76	38.75			
76.5	39.0			
77	39.25			
77.5	39.5			
78	39.75			
78.5	40.0			
79	40.25			
79.5	40.5			
80	40.75			
80.5	41.0			
81	41.25			
81.5	41.5			
82	41.75			
82.5	42.0			
83	42.25			
83.5	42.5			
84	42.75			
84.5	43.0			
85	43.25			
85.5	43.5			
86	43.75			
86.5	44.0			
87	44.25			
87.5	44.5			
88	44.75			
88.5	45.0			
89	45.25			
89.5	45.5			
90	45.75			
90.5	46.0			
91	46.25			
91.5	46.5			
92	46.75			
92.5	47.0			
93	47.25			
93.5	47.5			
94	47.75			
94.5	48.0			
95	48.25			
95.5	48.5			
96	48.75			
96.5	49.0			
97	49.25			
97.5	49.5			
98	49.75			
98.5	50.0			
99	50.25			
99.5	50.5			
100	50.75			

Tabla IV.5

Mediante la tabla IV.6 se encuentran los valores de la flecha  $\bar{h}_a$  y de la flecha  $\bar{s}$  dependiendo del número de dientes del engrane, siendo

el módulo y el paso diametral igual a uno; por lo tanto los valores obtenidos en la Tabla IV.6 se multiplicarán por el módulo del engrane -- que se está verificando y así obtener  $\bar{h}_a$  y  $\bar{s}$ , en caso de que se trabaje en el sistema inglés los valores obtenidos se dividen entre el paso diametral del engrane a verificar y así obtener  $\bar{h}_a$  y  $\bar{s}$ .

TABLA . Valores de la cuerda y de la flecha para Z dientes.

Z	$\bar{s}$	$\bar{h}_a$	Z	$\bar{s}$	$\bar{h}_a$	Z	$\bar{s}$	$\bar{h}_a$
6	1.5529	1.1022	51	1.5706	1.0121	96	1.5707	1.0064
7	1.5569	1.0873	52	1.5706	1.0119	97	1.5707	1.0064
8	1.5607	1.0769	53	1.5706	1.0117	98	1.5707	1.0063
9	1.5628	1.0689	54	1.5706	1.0114	99	1.5707	1.0062
10	1.5643	1.0616	55	1.5706	1.0112	100	1.5707	1.0061
11	1.5654	1.0559	56	1.5706	1.0110	101	1.5707	1.0061
12	1.5663	1.0514	57	1.5706	1.0108	102	1.5707	1.0060
13	1.5670	1.0474	58	1.5706	1.0106	103	1.5707	1.0060
14	1.5675	1.0440	59	1.5706	1.0105	104	1.5707	1.0059
15	1.5679	1.0411	60	1.5706	1.0102	105	1.5707	1.0059
16	1.5683	1.0385	61	1.5706	1.0101	106	1.5707	1.0059
17	1.5686	1.0362	62	1.5706	1.0100	107	1.5707	1.0059
18	1.5688	1.0342	63	1.5706	1.0098	108	1.5707	1.0057
19	1.5690	1.0324	64	1.5706	1.0097	109	1.5707	1.0057
20	1.5692	1.0308	65	1.5706	1.0095	110	1.5707	1.0056
21	1.5694	1.0294	66	1.5706	1.0094	111	1.5707	1.0056
22	1.5695	1.0281	67	1.5706	1.0092	112	1.5707	1.0055
23	1.5696	1.0268	68	1.5706	1.0091	113	1.5707	1.0055
24	1.5697	1.0257	69	1.5707	1.0090	114	1.5707	1.0054
25	1.5698	1.0247	70	1.5707	1.0088	115	1.5707	1.0054
26	1.5698	1.0237	71	1.5707	1.0087	116	1.5707	1.0053
27	1.5699	1.0228	72	1.5707	1.0086	117	1.5707	1.0053
28	1.5700	1.0220	73	1.5707	1.0085	118	1.5707	1.0053
29	1.5700	1.0213	74	1.5707	1.0084	119	1.5707	1.0052
30	1.5701	1.0208	75	1.5707	1.0083	120	1.5707	1.0052
31	1.5701	1.0199	76	1.5707	1.0081	121	1.5707	1.0051
32	1.5702	1.0193	77	1.5707	1.0080	122	1.5707	1.0051
33	1.5702	1.0187	78	1.5707	1.0079	123	1.5707	1.0050
34	1.5702	1.0181	79	1.5707	1.0078	124	1.5707	1.0050
35	1.5702	1.0176	80	1.5707	1.0077	125	1.5707	1.0049
36	1.5703	1.0171	81	1.5707	1.0076	126	1.5707	1.0049
37	1.5703	1.0167	82	1.5707	1.0075	127	1.5707	1.0049
38	1.5703	1.0162	83	1.5707	1.0074	128	1.5707*	1.0048
39	1.5704	1.0158	84	1.5707	1.0074	129	1.5707	1.0048
40	1.5704	1.0154	85	1.5707	1.0073	130	1.5707	1.0047
41	1.5704	1.0150	86	1.5707	1.0072	131	1.5708	1.0047
42	1.5704	1.0147	87	1.5707	1.0071	132	1.5708	1.0047
43	1.5705	1.0143	88	1.5707	1.0070	133	1.5708	1.0047
44	1.5705	1.0140	89	1.5707	1.0069	134	1.5708	1.0046
45	1.5705	1.0137	90	1.5707	1.0068	135	1.5708	1.0046
46	1.5705	1.0134	91	1.5707	1.0068	150	1.5708	1.0045
47	1.5705	1.0131	92	1.5707	1.0067	250	1.5708	1.0025
48	1.5705	1.0129	93	1.5707	1.0067	CRERA	1.5709	1.0000
49	1.5705	1.0126	94	1.5707	1.0066	LLERA		
50	1.5705	1.0123	95	1.5707	1.0065			

Z = Número de dientes

$\bar{s}$  = Ancho cordón del centro del engrane.

$\bar{h}_a$  = Distancia correcta del cuerno de sables al diámetro de paso tallado sobre el diente

Tabla IV. 6

El valor de  $\bar{h}_a$  se fija en la escala vertical (A) del calibrador de módulos ( Fig. 4.47 ), para que no varíe el valor anterior se deben apretar los tornillos de sujeción ( g y k - Fig. 4.47 ) de la escala vertical, es conveniente fijar el engrane en una prensa o en un torni-

llo de banco. Estando los tornillos de sujeción g y k ( de la escala horizontal ) flojos, se abren los palpadores hasta una distancia en la cual pueda entrar libremente el diente a verificar.

Se hace descansar la platina deslizante (j) en la superficie superior del diente, se van aproximando los palpadores (i) al perfil del diente, luego se aprieta el tornillo de sujeción (k) y por medio del tornillo (e), se procede a cerrar los palpadores hasta que hagan contacto éstos con el diente. Sin mover el calibrador ni el engrane se aprieta el tornillo de sujeción (g). Finalmente sin sacar el calibrador se lee la medida marcada en la escala horizontal (B) siendo esta la medida de la cuerda o grueso del diente.

#### 4.4.2.2 Método empleando un micrómetro de ext. con topes de disco.

Se emplea por supuesto un micrómetro de ext. con topes de disco. Y se procede de la siguiente manera.

Se cuentan el número de dientes del engrane (z), conociendo el ángulo de presión (A), se mide el diámetro exterior ( D ext ) del engrane en pulg. y mm. Se calcula el paso diametral y el módulo con las ecs 4.13 y 4.14 y comprobando sus valores en la Tabla IV.5 para determinar el Pd y M normalizados, se obtiene el radio de paso (R).

De la Tabla IV.7 se determina la constante (F), mediante la Tabla IV.8 se determina el número de dientes a medir (zv), se obtiene el número de espacios (s) con la ec. 4.15

$$s = zv - 1 \dots\dots\dots ( 4.15 )$$

Se determina la distancia (L) medida entre zv número de dientes, utilizando el micrómetro de ext. con topes de disco.

Con los valores obtenidos, se sustituyen en la ec. 4.16 y se despeja (T) que es el espesor del diente.

$$L = R \cdot \cos A \left[ \frac{T}{R} + \frac{6.2832 \cdot s}{z} + F \right] \dots\dots ( 4.16 )$$

Despejando (T) la ec. 4.16 queda:

$$T = \left[ L - \frac{6.2832 \cdot s}{Z} - P \right] R \dots\dots\dots (4.16)$$

Al obtener el valor de (T) se compara con los valores que se observan en las Tablas IV.9 y IV.10

TABLA . Engranos.

a	$11\frac{1}{2}^\circ$	$17\frac{1}{2}^\circ$	$20^\circ$	$22\frac{1}{2}^\circ$	$25^\circ$
P	0.0108	0.0073	0.0058	0.0048	0.0038

Tabla IV.7

TABLA . Engranos.

Rango de Z desde para A: 10"	Rango de Z desde para A: 20"	Número de Z
15 a 18	15 a 18	3
18 a 27	18 a 27	5
28 a 38	28 a 38	6
39 a 48	37 a 45	5
49 a 75	46 a 54	5
76 a 87	55 a 63	7
88 a 100	64 a 72	8
101 a 99	73 a 81	9

Tabla IV.8

TABLA . Valores de T para engranos con ángulo de presión de  $20^\circ$  (S.1).

PASO QUINENTAL $P_d$	ESPESOR CIRCULAR STANDARD	PASO QUINENTAL $P_d$	ESPESOR CIRCULAR STANDARD
0.5	0.1418	15	0.1389
0.75	0.0968	18	0.1208
1.0	0.0708	18	0.1128
1.25	0.0558	18	0.1047
1.5	0.0472	18	0.0968
1.75	0.0397	17	0.0888
2.0	0.3288	18	0.0807
2.25	0.0291	18	0.0827
2.5	0.0233	20	0.0748
2.75	0.0178	22	0.0716
3.0	0.0138	24	0.0684
3.5	0.0098	28	0.0604
4.0	0.0077	30	0.0581
5.0	0.0102	30	0.0528
6.0	0.0218	32	0.0481
7.0	0.0288	34	0.0442
8.0	0.1088	36	0.0416
9.0	0.1768	38	0.0412
10.0	0.1971	40	0.0393
11.0	0.1978		

Tabla IV.9

TABLA . Valores de T para engranos con ángulo de presión de  $20^\circ$  (S.2).

MÓDULO M	ESPESOR CIRCULAR STANDARD	MÓDULO M	ESPESOR CIRCULAR STANDARD
1.0	1.3708	10.0	18.7030
1.125	1.7818	11.0	17.3728
1.25	1.9838	12.0	16.0428
1.375	2.1858	14.0	21.9928
1.5	2.3878	16.0	28.1228
1.75	2.7898	18.0	34.2528
2.0	3.1918	20.0	40.3828
2.25	3.5938	22.0	46.5128
2.5	3.9958	24.0	52.6428
2.75	4.3978	26.0	58.7728
3.0	4.7998	28.0	64.9028
3.5	5.2018	30.0	71.0328
4.0	5.6038	40.0	87.1628
4.5	6.0058	48.0	103.2928
5.0	6.4078	50.0	109.4228
5.5	6.8098	60.0	125.5528
6.0	7.2118	70.0	141.6828
6.5	7.6138	80.0	157.8128
7.0	8.0158	90.0	173.9428
7.5	8.4178	100.0	190.0728
8.0	8.8198	110.0	206.2028
8.5	9.2218	120.0	222.3328
9.0	9.6238	130.0	238.4628
9.5	10.0258	140.0	254.5928
10.0	10.4278	150.0	270.7228
10.5	10.8298	160.0	286.8528
11.0	11.2318	170.0	302.9828

Tabla IV.10

## 4.5 Verificación de la rugosidad.

## 4.5.1 Instrumentos para verificar la rugosidad.

## 4.5.1.1 Microscopio Schamaltz.

Es un microscopio ( Fig. 4.54 ) para medir y/o verificar la rugosidad.

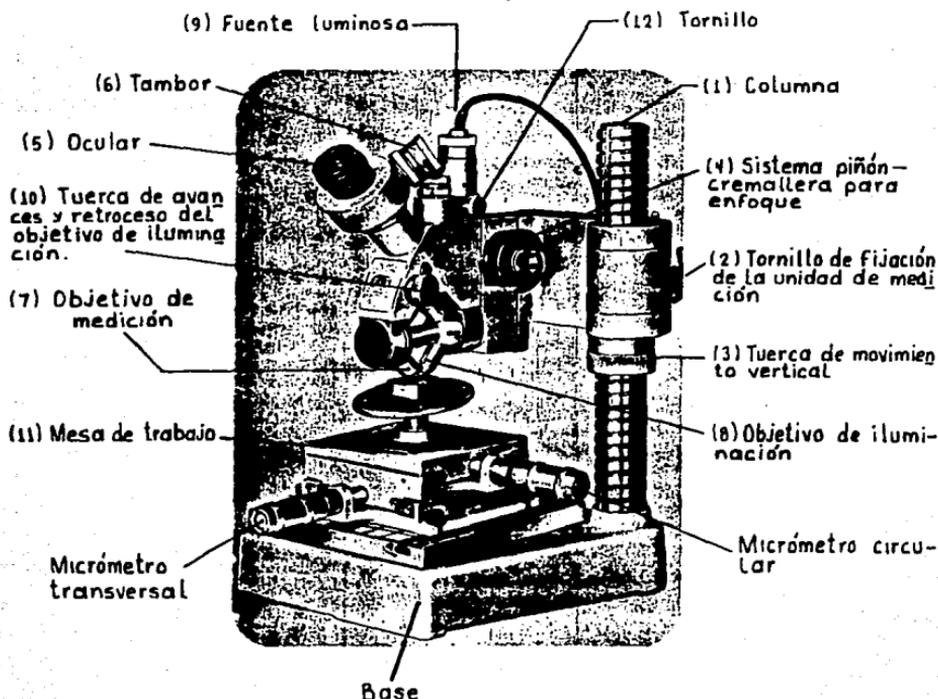


Fig. 4.54 Microscopio Schamaltz.

#### 4.5.1.2 Tabla de plaquitas - patrón.

Son construidas en acero inoxidable ( Fig. 4.55 ), se utilizan para definir el estado de superficie mediante el método llamado viso táctil.

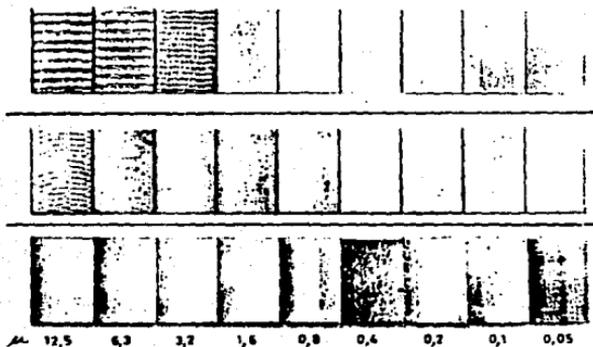
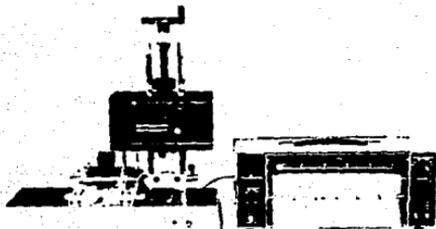


Fig. 4.55 Tabla de plaquitas - patrón.

#### 4.5.1.3 Rugosímetro o captador electrónico.

Es un aparato electrónico ( Fig. 4.56 ) para la medición de rugosidades.



Rango ( $\mu\text{m}$ )	Graduación ( $\mu\text{m}$ )	Rango ( $\mu\text{m}$ )	Graduación ( $\mu\text{m}$ )
0.3	0.02	10	.5
1.0	0.05	30	2.0
3.0	0.2	100	5.0
10.0	0.5	300	20.0
30.0	2.0	1000	50.0
100.0	5.0	3000	200.0

Fig. 4.56 Rugosímetro

## 4.5.2 Métodos para verificar la rugosidad.

### 4.5.2.1 Método viso - táctil.

Se utilizan las plaquitas - patrón debida y previamente identificadas por personal experimentado y calificado. La ventaja de éste método es que se disipan o concretan criterios a la hora de estimar cualquier calidad, sin necesidad de recurrir a otros medios de laboratorio que son más caros.

### 4.5.2.2 Método por medición óptica.

Se utiliza el microscopio Schamaltz y se procede de la siguiente manera:

Se seleccionan los objetivos de medición (7) e iluminación (8) de la Fig. 4.54, en base a una comparación entre la superficie a verificar y un patrón de rugosidad ( que viene entre los accesorios del microscopio ). Se coloca la pieza a verificar sobre la mesa de trabajo - (11) - Fig. 4.54 - si la pieza es cilíndrica utilizar el accesorio conveniente. Se enciende la fuente luminosa mediante ( 9 - Fig. 4.54 - ), accionando la cremallera ( 4 - Fig. 4.54 - ) se realiza un enfoque bug do, posteriormente se enfoca la pieza a verificar lo más clara posible mediante el tornillo ( 12 - Fig. 4.54 - ) y la tuerca (10) respectivamente.

Dentro del ocular ( 5 - Fig. 4.54 - ) hay unos ejes coordenados, una escala dividida en 8 partes iguales cada división tiene el valor de 1 centena y unas paralelas indicadoras, las cuales van a dar la lectura de centenas en la escala y unidades en el tambor ( 6 - Fig. 4.54)

Para obtener la altura de una rugosidad se coloca el eje x ( Fig. 4.57 ) tangente a la cresta o crestas más altas y se registra la lectura, mediante el tambor ( 6 - Fig. 4.54 - ). Se coloca el mismo eje x tangente al valle o valles más profundos ( Fig. 4.58 ), y se registra la lectura, la diferencia de la 2<sup>a</sup> y la 1<sup>a</sup> lectura dará un valor que es un valor adimensional y se multiplicará por una constante de transformación de los objetivos ( Tabla IV.11 ) dependiendo en que eje se -

está efectuando la medición, dándose el resultado en micras ( $\mu$ )

Para la medición del paso, se realiza de la misma forma, sólo que se utiliza el eje y, de cresta a cresta o de valle a valle y la diferencia de lecturas se multiplicará por la constante de transformación correspondiente (Tabla IV.11).

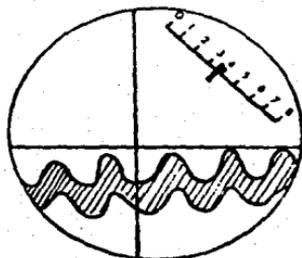


Fig. 4.57

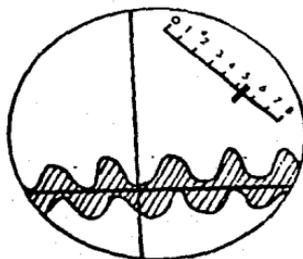


Fig. 4.58

		7x	14x	30x	60x
CONSTANTE	Kx	1.8	0.63	0.29	0.16
"	Ky	1.28	0.9	0.41	0.23

Tabla IV.11

#### 4.5.2.3 Método empleando el rugosímetro o captador electrónico.

Este método se emplea normalmente en laboratorios de empresas fortalezadas económicamente, para trabajos de gran precisión en el acabado de superficies. Y consiste:

En un dispositivo de copiado mecánico y rectilíneo, que por medio de un convertidor electromecánico transforma los movimientos del palpador en una magnitud eléctrica, ofreciendo un perfil real en un papel gráfico - registro de coordenadas.

El órgano de palpado es una fina aguja de diamante que se desplaza lineal y perpendicularmente a la superficie a verificar, los registros se plasman en el papel gráfico, donde las abscisas son las altu-

ras y las ordenadas son las longitudes de rugosidad, representadas en diferentes escalas.

En la Fig. 4.59 se observa un gráfico - registro de las oscilaciones de la rugosidad de una superficie mecanizada, cuya simbología y conceptos microgeométricos son los siguientes ( según normas métricas)



Fig. 4.59

$R = R_a =$  Altura media de la rugosidad o simplemente "rugosidad".

$R_{m\acute{a}x} = R_t =$  Rugosidad máxima altura

$A_r =$  Paso medio de la rugosidad.

$A_w =$  " " " " ondulación.

$W =$  Separación media de la ondulación.

$P_t =$  Medida del perfil de la rugosidad.

Línea media = Media entre envolvente superior e inferior.

" envolvente superior = Línea límite teórica sup. de la rugosidad.

Línea envolvente inferior = Línea límite teórica inf. de la rugosidad.

#### 4.6 Verificación de tolerancias de forma y posición.

##### 4.6.1 Tipos de tolerancias.

Para llevar un Control de Calidad de piezas manufacturadas referente a su forma y dimensiones, es necesario incluir en los planos de diseño tolerancias dimensionales, de forma y posición que en un momentado pueden ser determinantes para su aceptación o rechazo.

Existen 3 tipos de tolerancias.

4.6.1.1 Tolerancias dimensionales.- Es la diferencia entre la dimen---

sión máxima permisible y la dimensión mínima permisible. La tolerancia dimensional, se indica el valor nominal y las desviaciones permisibles con respecto a dicho valor, las desviaciones pueden quedar arriba o — abajo del valor nominal, en algunos casos ambas desviaciones pueden — quedar arriba o abajo del valor nominal, lo mismo que una de ellas pue de coincidir con él.

La cota real, es decir, la dimensión de una pieza manufacturada, — debe quedar siempre en la zona o intervalo fijado por las 2 desviaciones, incluyendo los límites de la zona o intervalo fijado.

4.6.1.2 Tolerancias de posición.— En la Fig. 4.60 se muestra una pieza rectangular y la tolerancia dimensional de la misma por el rectángulo CDEF.

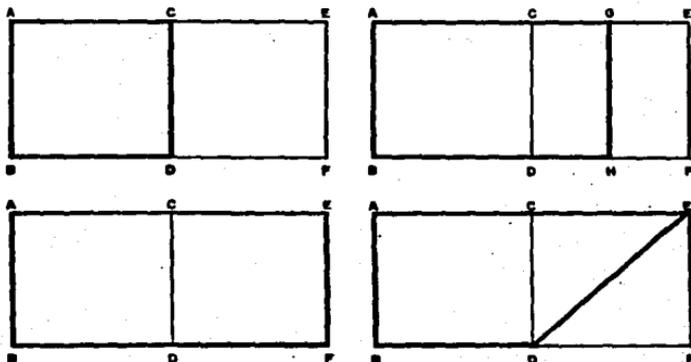


Fig. 4.60

Cualquiera de las siguientes piezas:

A B C D

A B G H

A B E F

Son piezas aceptables incluyendo la pieza ABED, puesto que también queda dentro de la tolerancia dimensional, pero puede no ser útil si se tiene la necesidad que los lados CD, GH, EF y ED sean paralelos-

con respecto a AB. Es cuando se debe de agregar una tolerancia más que prevea la anterior situación; ésta sería una tolerancia de posición, - que podría ocupar cualquier situación dentro de la tolerancia dimensional.

Símbolos normalizados ( Fig. 4.61 ) para las limitaciones de los errores de posición según ISO/TC 10.

SÍMBOLOS	CARACTERÍSTICAS A SER TOLERADAS	PARA ELEMENTOS ASOCIADOS
	PARALELISMO	
	PERPENDICULARIDAD	
	INCLINACION	
	CIRCULARIDAD	
	SIMETRIA	
	POSICION	
	COAXIALIDAD O CONCENTRICIDAD	

Fig. 4.61

4.6.1.3 Tolerancias de forma.- Dentro de la zona o intervalo de la tolerancia de posición, el lado ED ( Fig. 4.60 ) puede tener cualquier forma, por lo que es necesario establecer dentro de la zona o intervalo de la tolerancia de posición otra zona más estrecha, que sería la tolerancia de forma.

Símbolos normalizados ( Fig. 4.62 ) para las limitaciones de los errores de forma según ISO/TC 10

SÍMBOLOS	CARACTERÍSTICAS A SER TOLERADAS	PARA ELEMENTOS AISLADOS
	RECTITUD	
	CIRCULARIDAD	
	EXACTITUD DE UNA LINEA CUALQUIERA	
	PLANICIDAD	
	CILINDRICIDAD	
	EXACTITUD DE UNA SUPERFICIE CUALQUIERA	

Fig. 4.62

En la Fig. 4.63 se ilustra la manera de acotación en los planos.

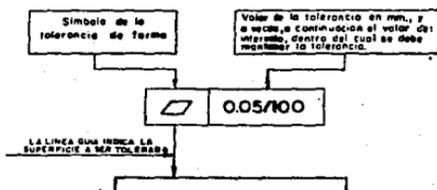


Fig. 4.63

La indicación del tipo y valor de la tolerancia se hacen en un rectángulo dividido en 2 o 3 partes, y se llena de la siguiente manera

Se indica el símbolo de la tolerancia según la característica que se necesite limitar; por ejemplo paralelismo.



Se anota el valor de la tolerancia con la misma unidad que se utiliza en la acotación lineal ( por lo general en mm ).



Si es necesario indicar el ( o los ) elemento ( s ) de referencia, se usan las primeras letras ( mayúsculas ) del abecedario.



Se une el rectángulo de tolerancia con los elementos involucrados por medio de líneas de referencia ( Fig. 4.64 ).

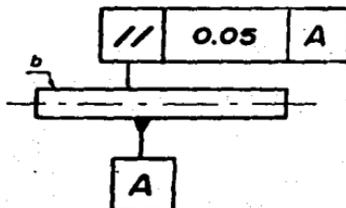


Fig. 4.64

La Fig. 4.64 se interpreta de la siguiente manera: El límite de error máximo en el paralelismo de la superficie b, tomando como referencia la superficie A es de 0.05

#### 4.6.2 Verificación de tolerancias de forma y posición.

##### 4.6.2.1 Verificación de la rectitud de las generatrices en un cono ext

Se coloca la generatriz del cono sobre un mármol, se comprobará - que no se filtre ningún rayo de luz entre sus superficies; si existe - un error de rectitud se evaluará de la siguiente manera: Se coloca el - cono sobre 2 bloques patrón ( galgas ) de la misma altura en sus extre - mos, se pasan por debajo apilamientos de galgas ( Fig. 4.65 ) de modo - que palpen la generatriz del cono.

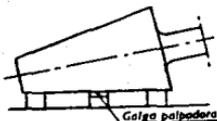


Fig. 4.65

##### 4.6.2.2 Verificación de la cilindricidad.

Cuando la pieza a verificar posee centros que han servido para mc canisar entre puntos, se monta en un aparato de verificar entre puntos como se ilustra en la Fig. 4.66 la condición es que los centros sean - correctos y bien alineados, para llevar a cabo dicha verificación.

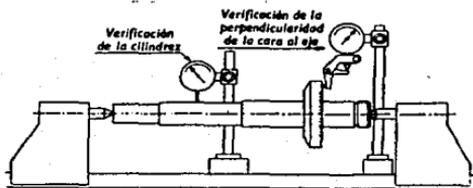


Fig. 4.66

Se utiliza un comparador acoplado a soportes en distintas secciones de un tramo, se ajustará a cero, y se girará la pieza a verificar, si en todas las secciones el comparador indica la misma cota ( para -- eliminar una posible flexión se emplea un apoyo intermedio ), se deduce que todas las secciones son redondas y del mismo diámetro; el tramo es pues cilíndrico ( generatriz rectilínea y a una distancia constante del eje ). En la misma Fig. 4.66 se realiza la verificación de la perpendicularidad de la cara al eje, mediante otro comparador el cual el-

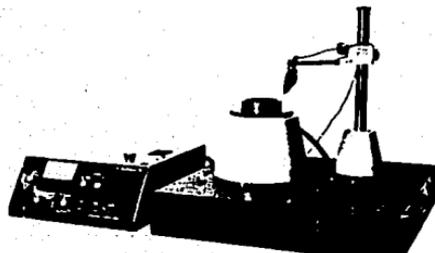
palpador recorre el radio de dicha cara.

#### 4.6.3 Máquina para verificar la redondez.

Es utilizada en laboratorios de Metrología de empresas fortalecidas económicamente.

Esta máquina verificadora ( Fig. 4.67 ) mide la microgeometría de piezas de revolución. Además de la redondez ( desviación con relación al circular ) verifica la coaxialidad, la perpendicularidad, y el paralelismo de la pieza que se estudia.

Las piezas a verificar se montan sobre una mesa circular provista de un cojinete de aire. La pieza gira junto con la mesa mientras el -- palpador está fijo. Un registro con diagrama polar proporciona los valores de las mediciones.



- Ampliación: X50, X100, X125, X250, X500, X1000, X1250, X2500, X5000, X10,000.

- Peso máximo de la pieza centrada: 30 Kg.

**Accesorios opcionales:**

- Mandril de amarre de 3 garras
- Semiesfera de referencia de vidrio de 50mm.
- Mesa de centrar basculante

Fig. 4.67 Máquina para verificar la redondez

CAPITULO 5 APLICACION DE LA METROLOGIA GEOMETRICA DIMENSIONAL  
AL CONTROL DE LA CALIDAD.

### 5.1 Control Estadístico.

El aumento de precisión que se exige a los productos que se manufacturan en diversas empresas, va ligado a la necesidad de mejores métodos para la medición, para las especificaciones y el registro. La Probabilidad y Estadística es una de las técnicas de mayor valor que se emplea en las tareas del Control de la Calidad.

Los métodos estadísticos, al aplicarlos en la actualidad al Control de la Calidad no representan una ciencia exacta, sino que sirve para conocer la variabilidad en la Calidad de un producto durante un proceso y para seguir los cambios de dicha variabilidad. Lo anterior se define como: Control de Calidad Estadístico.

En la producción nunca se va a lograr que las piezas manufacturadas sean exactamente iguales dimensionalmente, la variabilidad siempre va a estar presente influida por factores como; relaciones humanas, condiciones tecnológicas y consideraciones sobre costos.

La variabilidad puede ser natural, cuando se ve afectada por: La falta de constancia en la habilidad de los operadores, desajustes y desgastes de máquinas, etc.

También la variabilidad puede ser anormal, cuando el promedio del proceso varía gradualmente como resultado de cambios graduales en el desgaste de herramientas, fatiga del operador, etc. Esta variabilidad puede ser estudiada y controlada por métodos estadísticos.

El Control de Calidad estadístico se basa en la recopilación, análisis e interpretación de datos obtenidos, que sirven para minimizar el desperdicio y aumentar la producción.

#### 5.1.1 Distribución de frecuencias.

Al gráfico conocido como " distribución de la frecuencia o histo-

grama se le considera como instrumento de Control estadístico de la Calidad, es empleado en uno de los métodos para evaluar la Calidad de los productos que tienen características medibles de una manera rápida

La distribución de frecuencias es una gráfica en la cual se observará el número que se repite cada medición ( frecuencia ), la gráfica indicará aproximadamente en que medida el producto está cumpliendo con las especificaciones, indicará cual medición es la más común, que tan grande es el rango de un conjunto de datos dependiendo de los límites o puntos extremos ( dispersión ), y si la distribución está centrada o descentrada.

Ejemplo: En un lote de piezas debe de cumplir con la siguiente especificación;  $0.397 \pm 0.003$ , se tomó una muestra de 20 piezas, se midieron con un micrómetro y sus valores fueron; los que se muestran en la Tabla V.1

0.397	0.400	0.396	0.397	0.398
0.397	0.397	0.399	0.399	0.397
0.398	0.399	0.398	0.395	0.396
0.397	0.395	0.396	0.397	0.398

Tabla V.1

Si se está cumpliendo con la especificación, la distribución de frecuencia mostrará como valor más común el de 0.397 y la dispersión expresará el rango entre 0.394 y 0.400 que son los límites mínimo y máximo de la especificación. De la Fig. 5.1 se deduce que la distribución de frecuencias está centrada con respecto a la dimensión nominal, y que la dispersión se encuentra dentro de los límites especificados.

Valores	Frecuencia	
0.394	-----	Límite mínimo
0.395	XX (2)	
0.396	XXX (3)	
0.397	XXXXXXXX (7)	
0.398	XXXX (4)	
0.399	XXX (3)	
0.400	X (1)	Límite máximo

Fig. 5.1 Gráfica de distribución de frecuencias individuales.

En unos casos se puede perder el Control del proceso de fabricación, que es cuando ocurre lo siguiente; distribución descentrada con respecto a la dimensión nominal, presencia de un incremento en la dispersión que rebase los límites inferior o superior de la especificación, con esto existe la probabilidad grande de detectar productos defectuosos en un lote que presente lo anteriormente expuesto.

Cuando se cuenta con un número de datos  $\geq 50$  se procede de otra manera, que se ilustra con el siguiente ejemplo.

Ejemplo: De un proceso de fabricación de cierta pieza se toma una muestra de 80 piezas, las mediciones individuales se muestran en la Tabla V.2

0.845	0.785	0.852	0.716	0.752	0.793	0.724	0.960
0.741	0.622	0.783	0.685	0.756	0.753	0.887	0.712
0.933	0.751	0.759	0.954	0.802	0.875	0.907	0.678
0.825	0.738	0.734	0.608	0.885	0.887	0.657	0.739
0.767	0.628	0.959	0.816	0.942	0.778	0.632	0.793
0.837	0.781	0.689	0.898	0.756	0.621	0.656	0.675
0.732	0.853	0.798	0.759	0.744	0.606	0.560	0.747
0.667	0.763	0.756	0.632	0.937	0.877	0.783	0.960
0.596	0.726	0.859	0.687	0.622	0.758	0.574	0.614
0.868	0.625	0.719	0.609	0.812	0.697	0.828	0.763

Tabla V.2 Mediciones individuales.

Y se procede de la siguiente manera:

1<sup>o</sup> Se cuenta el número total de datos ( $n$ ) = 80

2<sup>o</sup> Con el valor máximo y mínimo de los datos:

$V_{\text{máx}} = 0.960$  ;  $V_{\text{mín}} = 0.560$ , con estos valores se determina el rango ( $R$ ) =  $V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}} = 0.960 - 0.560 = 0.400$

3<sup>o</sup> Mediante la Tabla V.3 se determina el No. de clase ( $K$ ) = 8

No. de datos (N)	No. de clase (K)
50 - 100	6 - 10
100 - 250	7 - 12
más 250	10 - 20

Tabla V.3

4<sup>o</sup> Se determina el intervalo de clase  $I = \frac{R}{K} = \frac{0.400}{8} = 0.05$

5<sup>o</sup> Se calculan los límites inferior y superior de todas las clases.

Límite inferior de la primera clase =  $V_{\min} = 0.560$

" superior " " " " " =  $0.560 + I = 0.560 + 0.05$

" " " " " " =  $0.610$

Centro de la primera clase =  $0.560 + \frac{0.05}{2} = 0.585$

Límite inferior de la segunda clase = Lím sup de 1<sup>a</sup> clase =  $0.610$

" superior " " " " " =  $0.610 + I = 0.610 + 0.05$

" " " " " " =  $0.660$

Centro de la segunda clase =  $0.610 + \frac{0.05}{2} = 0.635$

Y así sucesivamente hasta llegar a la 8<sup>a</sup> clase con:

Límite inferior de la octava clase = Lím sup de 7<sup>a</sup> clase =  $0.910$

" superior " " " " " =  $0.910 + I = 0.910 + 0.05$

" " " " " " =  $0.960$

Centro de la octava clase =  $0.910 + \frac{0.05}{2} = 0.935$

6<sup>o</sup> Se anotan los límites y centros de clase ( Tabla V.4 ), en la columna de conteo se localizan los valores individuales que pertenecen a cada clase con "rayitas" ( Tabla V.4 ) y en la columna de frecuencia el total de "rayitas" de cada clase.

7<sup>o</sup> Se calcula  $\bar{x}$  ( media aritmética ), seleccionándose el centro de clase el de mayor frecuencia y se asigna como  $x_0 = 0.735$  y en la columna correspondiente a u ( Tabla V.4 ) se le destina el valor de cero

8<sup>o</sup> Se calculan los valores de u de la siguiente manera: De u = 0, hacia arriba toman los valores de -1, -2, -3 hasta llegar a la primera clase ( Tabla V.4 ), y de u = 0 hacia abajo toman los valores de +1, -+2, +3, etc hasta llegar a la última clase.

9<sup>o</sup> Se obtienen los valores para la columna fu ( Tabla V.4 ) reali

zando el producto de  $u$  por frecuencia, y para obtener  $fu^2$  se multiplica  $fu$  por  $u$ .

10<sup>o</sup> Se calcula la media  $\bar{x}$  y la desviación estándar  $\sigma$ : Con las siguientes fórmulas.

$$\bar{x} = x_0 + (fu/n) I \dots\dots\dots (5.1)$$

$$\sigma = I \sqrt{\sum fu^2/n - (fu/n)^2} \dots\dots\dots (5.2)$$

Sustituyendo valores en (5.1) y (5.2).

$$\bar{x} = 0.735 + (38/80) 0.05 = 0.75875$$

$$\sigma = 0.05 \sqrt{344/80 - (38/80)^2} = 0.1009$$

11<sup>o</sup> Se traza el histograma y polígono de frecuencias (Fig. 5.2)

Clases	Centro	Conteo	Frecuencia	$u$	$fu$	$fu^2$
0.560 - 0.610	0.585		6	-3	-18	54
0.610 - 0.660	0.635		11	-2	-22	44
0.660 - 0.710	0.685		6	-1	-6	6
0.710 - 0.760	0.735		20	0	0	0
0.760 - 0.810	0.785		12	1	12	12
0.810 - 0.860	0.835		9	2	18	36
0.860 - 0.910	0.885		7	3	21	63
0.910 - 0.960	0.935		8	4	32	128
			80		38	344

Tabla V.4

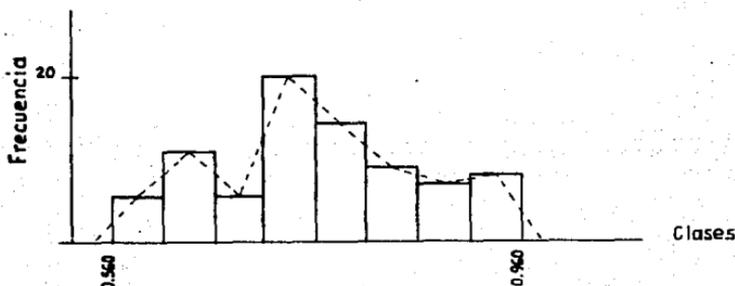


Fig. 5.2 Histograma y polígono de frecuencia

## 5.2 Muestreo.

### 5.2.1 Generalidades.

Una de las herramientas estadísticas empleada para el Control de aceptación es el muestreo, ya que la inspección al 100 % es impracticable y antieconómica. El muestreo se basa en la teoría de las probabilidades.

Los planes de muestreo se aplican en la inspección de recepción, en la inspección del proceso, en pruebas destructivas del producto y en la inspección final.

### 5.2.2 Muestreo por atributos.

El muestreo por atributos consiste en seleccionar aleatoriamente de un lote, cierto número de piezas ( muestra ); se inspeccionan éstas y se decide si se acepta o no el lote, empleando una regla de decisión que dice: Aceptar si el número de piezas defectuosas encontradas es igual o menor que un número "c" dado y rechazar si el número de piezas defectuosas encontradas es mayor a número "c".

#### 5.2.2.1 Terminología del muestreo.

**Lote ( N ):** Es un conjunto de unidades del cual se va a tomar una muestra.

**Muestra ( n ):** Es un conjunto de unidades seleccionadas aleatoriamente de un lote.

**Número de aceptación ( c ):** Es el número máximo de unidades defectuosas permitidas en una muestra de tamaño ( n ), para aceptar un lote de tamaño ( N ).

**Probabilidad de aceptación ( Pa ):** Es la probabilidad que tiene un lote de ser aceptado conteniendo un determinado porcentaje de producto defectuoso.

**Nivel de Calidad aceptable ( AQL ):** Es el porcentaje máximo de producto defectuoso, que para propósitos de inspección por muestreo, se puede considerar satisfactorio como Calidad promedio de un proceso.

### 5.2.2.2 Ventajas del muestreo.

Las principales ventajas del muestreo son:

5.2.2.2.1 Reducción de costos.- Ya que la inspección no será al 100 %.

5.2.2.2.2 Ahorrar tiempo.- Ya que no es lo mismo inspeccionar un lote-completo a una muestra del mismo.

5.2.2.2.3 Ahorrar materiales en pruebas destructivas.- En una muestra-seleccionada de piezas o productos, siempre será una cantidad mínima - a la que se le realice la prueba.

5.2.2.2.4 Reducción de fallas personales.- Al personal de inspección - le ocasionaría cansancio o tedio tener que efectuar una inspección al-100 %.

5.2.2.2.5 Rechazo de lotes enteros.- Hace que se ejerza mucho más presión para mejorar la Calidad que el rechazo de artículos sueltos o individuales.

### 5.2.2.3 Tablas de muestreo.

Existen Tablas que sirven para auxiliar el muestreo, como las Tablas MIL - STD - 105D ( Norma ABC ). Estas Tablas tienen 3 planes de - muestreo:

Simple

Doble

Múltiple

Y con 3 niveles de inspección generales que son:

Reducida

Normal

Rigurosa

De tal manera que cada uno de los niveles de inspección pueda combinarse con cada uno de los planes de muestreo como se aprecia en las-Tablas V.5 a V.13





Muestra de calidad aceptable (inspección rigurosa)

Nivel de riesgo	Número de unidades	0.010		0.015		0.020		0.030		0.040		0.050		0.070		0.100		0.150		0.200		0.300		0.500		1.000		
		Ac	Ra	Ac																								
A	1																											
B	2																											
C	3																											
D	4																											
E	5																											
F	6																											
G	7																											
H	8																											
I	9																											
J	10																											
K	11																											
L	12																											
M	13																											
N	14																											
O	15																											
P	16																											
Q	17																											
R	18																											
S	19																											
T	20																											

1 - Incluye el plan de muestreo (muestreo inferior a la fecha). Si el tamaño de la muestra es igual o superior al del lote, hacer inspección al 100%.  
 2 - Incluye el plan de muestreo (muestreo superior a la fecha).  
 3 - Número de aceptación.  
 4 - Número de rechazo.  
 5 - Incluye el plan de muestreo simple correspondiente (o sea, cuando se puede, el plan de muestreo doble inferior).

TABLA V. 9 MUESTREO DOBLE INSPECCION RIGUROSA

Muestra de calidad aceptable (inspección reducida)

Nivel de riesgo	Número de unidades	0.010		0.015		0.020		0.030		0.040		0.050		0.070		0.100		0.150		0.200		0.300		0.500		1.000	
		Ac	Ra																								
A	1																										
B	2																										
C	3																										
D	4																										
E	5																										
F	6																										
G	7																										
H	8																										
I	9																										
J	10																										
K	11																										
L	12																										
M	13																										
N	14																										
O	15																										
P	16																										
Q	17																										
R	18																										
S	19																										
T	20																										

1 - Incluye el plan de muestreo (muestreo inferior a la fecha). Si el tamaño de la muestra es igual o superior al del lote, hacer inspección al 100%.  
 2 - Incluye el plan de muestreo (muestreo superior a la fecha).  
 3 - Número de aceptación.  
 4 - Número de rechazo.  
 5 - Incluye el plan de muestreo simple correspondiente (o sea, cuando se puede, el plan de muestreo doble inferior).

TABLA V. 10 MUESTREO DOBLE INSPECCION REDUCIDA

Temperatura	Caudal	Temperatura de la muestra	Número de lecturas apropiadas (temperatura registrada)																							
			0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

4. Complete el plan de muestreo inmediato inferior a la Fecha. (Cuando haga falta, consultar la columna de la tabla en la página siguiente.) Si el resultado de la muestra es igual o superior al del ítem, hacer inspección al 100%.

5. Complete el plan de muestreo inmediato superior a la Fecha.

A. número de inspecciones.

B. número de relecturas.

6. Complete el plan de muestreo simple correspondiente (o bien, cuando se pueda, el plan de muestreo múltiple doble inferior).

7. Complete el plan de muestreo doble correspondiente (o bien, cuando se pueda, el plan de muestreo múltiple inferior).

8. No se permite la inspección de una muestra de muestra.

Temperatura	Caudal	Temperatura de la muestra	Número de lecturas apropiadas (temperatura registrada)																							
			0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

4. Complete el plan de muestreo inmediato inferior a la Fecha. Si el resultado de la muestra es igual o superior al del ítem, hacer inspección al 100%.

5. Complete el plan de muestreo inmediato superior a la Fecha. (Cuando haga falta, consultar la tabla en la página anterior.)

A. número de inspecciones.

B. número de relecturas.

6. Complete el plan de muestreo simple correspondiente (o bien, cuando se pueda, el plan de muestreo doble inferior).

7. Complete el plan de muestreo doble correspondiente (o bien, cuando se pueda, el plan de muestreo múltiple inferior).

8. No se permite la inspección de una muestra de muestra.

TABLA V.11 MUESTREO MÚLTIPLE INSPECCIÓN NORMAL





#### 5.2.2.4 Criterios para seleccionar el nivel de inspección.

5.2.2.4.1 Siempre debe de empezarse con el nivel de inspección normal.

5.2.2.4.2 Si se empieza con inspección rigurosa se debe de justificar con las siguientes condiciones:

1<sup>a</sup> Carencia de experiencia por parte del proveedor en la fabricación del producto.

2<sup>a</sup> La experiencia previa con otros proveedores muestra la necesidad de una inspección rigurosa debido a las dificultades iniciales de fabricación del producto.

3<sup>a</sup> El estudio de los equipos de producción del proveedor aconseja el nivel riguroso, debido a la probabilidad de que se produzca Calidad inferior del nivel de Calidad aceptable ( AQL ).

5.2.2.4.3 La inspección reducida sólo debe emplearse cuando se tenga plena confianza en el proveedor, basándose en sus resultados anteriores satisfactorios. Pero el riesgo del consumidor se incrementa con el empleo de este nivel de inspección.

#### 5.2.2.5 Criterios normalizados para cambios de nivel de inspección.

5.2.2.5.1 De inspección normal a inspección reducida: " Cuando 10 lotes consecutivos hayan sido aceptados "

5.2.2.5.2 De inspección normal a inspección rigurosa: " Cuando 5 lotes consecutivos hayan sido rechazados "

5.2.2.5.3 De inspección reducida a inspección normal: " Cuando un lote haya sido rechazado, cuando no se cumplen los criterios de aceptación y rechazo, el lote se acepta "

5.2.2.5.4 De inspección rigurosa a inspección normal: " Cuando 5 lotes consecutivos hayan sido aceptados "

### 5.2.2.6 Selección del plan de muestreo y empleo de Tablas.

El plan de muestreo simple es el más adecuado para los niveles de Calidad intermedios.

Se recomienda emplear los planes de muestreo doble y múltiple; -- cuando se tenga la seguridad de que el nivel de Calidad es muy bueno o muy malo, de esta forma se reduce la carga de inspección.

Para el empleo de las Tablas V.5 a V.13 es necesario saber el nivel de Calidad aceptable ( AQL ), la letra clave del tamaño de la muestra ( Tabla V.14 ).

Tabla Letras clave del tamaño de la muestra MIL-STD-105D  
(Norma ABC) TABLA V.14

Tamaño del lote	Niveles de inspección especiales				Niveles de inspección generales			
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III	
2-8	A	A	A	A	A	A	B	
9-15	A	A	A	A	A	B	C	
16-25	A	A	B	B	B	C	D	
26-50	A	B	B	C	C	D	E	
51-90	B	B	C	C	C	E	F	
91-150	B	B	C	D	D	F	G	
151-280	B	C	D	E	E	G	H	
281-500	B	C	D	E	F	H	J	
501-1 200	C	C	E	F	G	J	K	
1 201-3 200	C	D	E	G	H	K	L	
3 201-10 000	C	D	F	G	J	L	M	
10 001-35 000	C	D	F	H	K	M	N	f donde:
35 001-150 000	D	E	G	J	L	N	P	INSPECC. REDUCIDA : I
150 001-500 000	D	E	G	J	M	P	Q	" NORMAL : II
500 001 y más	D	E	H	K	N	Q	R	" RIGUROSA : III

Para determinar que Tabla ( MIL - STD - 105D ) debe usarse, se debe conocer si se va a seguir un muestreo simple, doble o múltiple y si la inspección va a ser normal, rigurosa o reducida.

Ejemplo: Plan de muestreo simple, tamaño del lote 1000, nivel de Calidad aceptable 1.5 % e inspección normal.

Se determina la letra clave del tamaño de la muestra, utilizando la Tabla V.14

Se busca la cifra de 1000 en la columna "tamaño de lote", se continúa horizontalmente hasta encontrarse en la columna II "niveles de - inspección generales" determinándose la letra "J".

En la Tabla V.5 en la primera columna "letra clave del tamaño de la muestra" localizar la letra J, horizontalmente en la siguiente columna "tamaño de la muestra" nos indica 80, se sigue horizontalmente - hasta cruzar con la columna del 1.5 que es el nivel de Calidad aceptable. Determinándose los números de aceptación y rechazo que son:  $Ac= 3$  y  $Re= 4$

### 5.3 Gráficas $\bar{x}$ , R

#### 5.3.1 Generalidades.

La gráfica de Control es otra herramienta estadística que se emplea principalmente para el estudio y Control de procesos repetitivos, o sea, en producción masiva. Esta gráfica fija los límites estadísticos de la variación permisible del proceso. De tal manera que si se toman muestras del proceso a intervalos regulares de tiempo, manteniendo el orden en que fueron tomadas las muestras y graficando los promedios y los rangos de las muestras, se puede determinar si el proceso es estable. Si todos los valores graficados "caen" dentro de los límites de Control, sin mostrar variación anormal dentro de los límites, se puede considerar que el proceso está bajo Control estadístico.

#### 5.3.2 Terminología de gráficas $\bar{x}$ , R

LSC = Límite superior de Control.

LIC = " inferior " "

LC = Línea central.

x = Valores individuales ( mediciones ).

$n$  = Tamaño de la muestra.

$\bar{x}$  = Promedio de la muestra.

$N$  = Número de muestras.

$\bar{\bar{x}}$  = Promedio de promedios de las muestras = Línea central de la gráfica  $\bar{x}$ .

$R$  = Rango de la muestra.

$\bar{R}$  = Línea central de la gráfica  $R$ .

$A_2$  = Factor empleado para el cálculo de LSC y LIC de la gráfica  $\bar{x}$ .

$D_3$  = " " " " " " " LIC de la gráfica  $R$ .

$D_4$  = " " " " " " " LSC " " " " .

### 5.3.2.1 Fórmulas para el cálculo de los límites de Control.

$$\bar{\bar{x}} = \sum x/n \quad \dots \dots \dots (5.3)$$

$$\bar{\bar{x}} = \sum \bar{x}/N \quad \dots \dots \dots (5.4)$$

$$\bar{R} = \sum R/N \quad \dots \dots \dots (5.5)$$

$$\bar{x} \left\{ \begin{array}{l} \text{LSC} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad \dots \dots \dots (5.6) \\ \text{LIC} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad \dots \dots \dots (5.7) \end{array} \right.$$

$$\text{LG} = \bar{\bar{x}} \quad \dots \dots \dots (5.8)$$

$$R \left\{ \begin{array}{l} \text{LSC} = D_4 \bar{R} \quad \dots \dots \dots (5.9) \\ \text{LIC} = D_3 \bar{R} \quad \dots \dots \dots (5.10) \end{array} \right.$$

$$\text{LG} = \bar{R} \quad \dots \dots \dots (5.11)$$

### 5.3.3 Recomendaciones para elaborar una gráfica de Control.

5.3.3.1 Selección de la característica.- Seleccionar la característica que esté causando rechazos o reprocesos o aquella característica que -

presente más problema para su Control.

5.3.3.2 Tamaño de la muestra.- Se recomienda tomar una muestra de 5 unidades.

5.3.3.3 Intervalo de tiempo.- La periodicidad del muestreo, que al inicio puede ser de 15 minutos puede, finalmente, pasar a 2 horas cuando se tengan más conocimientos sobre el comportamiento del proceso.

5.3.3.4 Recolección de datos.- Se miden las muestras con el instrumento de la precisión requerida y se anotan los resultados en formatos de registro, manteniendo el orden de la muestra a que correspondan.

5.3.3.5 Cálculo de los límites de Control.- Para el cálculo de los límites de Control se recomienda obtener 25 muestras.

5.3.3.6 Trazo de los límites de Control.- Se trazan los límites de Control a una escala conveniente.

#### 5.3.4 Interpretación de las gráficas $\bar{x}$ , R

##### 5.3.4.1 Para la gráfica $\bar{x}$ .

1º Indica cómo está centrado el proceso.

2º Si la gráfica es natural ( comportándose similarmente como una curva senoidal ) el proceso está centrado.

3º Si la gráfica muestra tendencias, el centro del proceso se mueve gradualmente hacia arriba o hacia abajo.

4º Si la gráfica es errática y está fuera de Control, existe alguna causa que está cambiando rápidamente el centro del proceso.

##### 5.3.4.2 Para la gráfica R.

1º Indica uniformidad o consistencia.

2º Si la gráfica es angosta el producto es uniforme.

3<sup>o</sup> Si la gráfica es ancha el producto no es uniforme.

4<sup>o</sup> Si la gráfica está fuera de Control "algo" está actuando en el proceso de manera no uniforme.

#### 5.3.4.3 Pruebas que indican cambios en el promedio del proceso.

1<sup>a</sup> Un punto fuera del límite superior de Control.

2<sup>a</sup> " " " " " inferior " " .

3<sup>a</sup> Dos puntos sucesivos cerca del límite superior de Control.

4<sup>a</sup> Siete puntos sucesivos de un mismo lado de la línea central.

5<sup>a</sup> Puntos fuera del límite superior de Control de la gráfica R in dica cambio en la dispersión del proceso.

Las máquinas con buen mantenimiento tienden a hacer uniformes a los productos, así como los operadores bien capacitados.

Si ambas gráficas están fuera de Control, se recomienda buscar -- primero las causas que están afectando a la gráfica R.

Ejemplo de gráfica  $\bar{X}$ , R: Calcular los límites de Control. A partir de los datos que se tienen en la Tabla V.15

Hora	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	$\bar{X}$	R
7.30	3.6	3.7	3.6	3.6	3.63	0.1
8.00	3.4	3.3	3.5	3.4	3.40	0.2
8.30	3.5	3.6	3.6	3.6	3.57	0.1
9.00	3.6	3.7	3.6	3.6	3.60	0.2
9.30	3.2	3.6	3.3	3.5	3.37	0.3
10.00	3.5	3.4	3.8	3.7	3.60	0.4
10.30	3.6	3.7	3.7	3.4	3.60	0.3
11.00	3.8	3.4	3.6	3.6	3.60	0.4
11.30	3.1	3.9	3.3	3.6	3.50	0.8
12.00	3.6	3.7	3.4	3.6	3.55	0.3
12.30	3.8	3.5	3.3	3.6	3.55	0.5
13.00	3.9	3.4	3.6	3.4	3.55	0.5
13.30	3.5	3.6	3.3	3.6	3.50	0.3
14.00	3.5	3.6	3.5	3.6	3.55	0.1
14.30	3.7	3.6	3.6	3.6	3.60	0.2
15.00	3.7	3.6	3.6	3.5	3.65	0.3
15.30	3.6	3.2	3.2	3.4	3.35	0.4
16.00	3.4	3.3	3.7	3.7	3.52	0.4
16.30	3.4	3.8	3.4	3.4	3.50	0.4
17.00	3.3	3.5	3.5	3.5	3.45	0.2
17.30	3.8	3.1	3.5	3.7	3.52	0.7
18.00	3.7	3.7	3.3	3.5	3.55	0.4
18.30	3.6	3.4	3.6	3.6	3.55	0.2
19.00	3.6	3.7	3.1	3.4	3.45	0.5
19.30	3.7	3.5	3.4	3.3	3.47	0.4

Tabla V.15

De los datos de la Tabla V.15 se tiene:

$$\sum \bar{x} = 88.18$$

$$\sum R = 8.7$$

$$N = 25$$

Utilizando las fórmulas ( 5.4 ) y ( 5.5 ) se obtienen  $\bar{\bar{x}}$  y  $\bar{\bar{R}}$  respectivamente.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum \bar{x}}{N} = \frac{88.18}{25} = 3.527 = 3.53$$

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\sum R}{N} = \frac{8.7}{25} = 0.348 = 0.35$$

Para la gráfica  $\bar{x}$  se emplean las fórmulas ( 5.6 ), ( 5.7 ) y ---- ( 5.8 ) obteniéndose LSC, LIC y LC respectivamente.

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{\bar{R}} = 3.53 + A_2 ( 0.348 ) ; A_2 = 0.73 ( \text{Tabla V.16} )$$

$$LSC = 3.53 + 0.73 ( 0.348 ) = 3.78$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{\bar{R}} = 3.53 - A_2 ( 0.348 ) ; A_2 = 0.73 ( \text{Tabla V.16} )$$

$$LIC = 3.53 - 0.73 ( 0.348 ) = 3.28$$

$$LC = 3.53$$

Para la gráfica R se emplean las fórmulas ( 5.9 ), ( 5.10 ) y ---- ( 5.11 ) obteniéndose LSC, LIC y LC respectivamente.

$$LSC = D_4 \bar{\bar{R}} = D_4 ( 0.348 ) ; D_4 = 2.28 ( \text{Tabla V.16} )$$

$$LSC = 2.28 ( 0.348 ) = 0.793$$

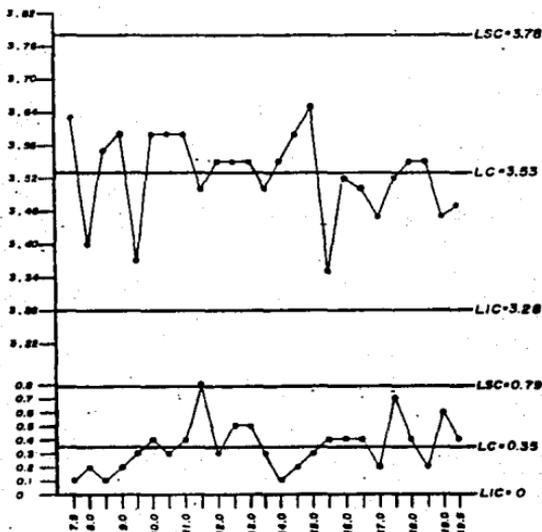
$$LIC = D_3 \bar{\bar{R}} = D_3 ( 0.348 ) ; D_3 = 0 ( \text{Tabla V.16} )$$

$$LIC = 0 ( 0.348 ) = 0$$

$$LC = 0.35$$

Número de observaciones en el subgrupo	Factor para el gráfico $\bar{X}$	Factores para el gráfico $R$	
		Límite control inf.	Límite control sup.
$n$	$A_1$	$D_1$	$D_2$
2	1.88	0	3.27
3	1.02	0	2.57
4	0.73	0	2.28
5	0.58	0	2.11

Tabla V.16

Fig. 5.3 Trazo de la gráfica  $\bar{X}$ ,  $R$ 

La interpretación de la Fig. 5.3: La gráfica  $\bar{X}$  muestra que el proceso está errático, ya que no se comporta similarmente como una curva-senoidal. Mientras la gráfica  $R$ ; en unos intervalos de tiempo la gráfica es ancha ( 12.0 a 17.0 hrs. ) lo que significa que el producto no es uniforme. Se debe de investigar la(s) causa(s) que producen el resultado no satisfactorio del proceso.

## 5.4 Capacidad de máquina ( o de proceso ).

### 5.4.1 Generalidades.

La capacidad de máquina o índice de capacidad de máquina es un estudio de la máquina por medios estadísticos.

Cualquier máquina que se prepare adecuadamente o inadecuadamente, produce variaciones en las dimensiones de pieza a pieza. Un estudio de índice de capacidad de máquina involucra la cuantificación de la variabilidad de la máquina para producir una dimensión y la comparación de esa variabilidad con las tolerancias permitidas de la pieza que la máquina produzca.

El estudio se inicia con la producción de un número de piezas, -- que se mantienen en el orden cronológico de producción; la dimensión -- que va a ser controlada es medida y los datos se someten a un análisis estadístico.

Las dimensiones de las piezas producidas por las máquinas presentan un patrón de variación que se conoce como distribución normal y -- que se representa por una curva ( Fig. 5.4 ). De hecho el no encontrar una distribución normal en una máquina es la clave que sugiere que algún factor está produciendo anomalías.

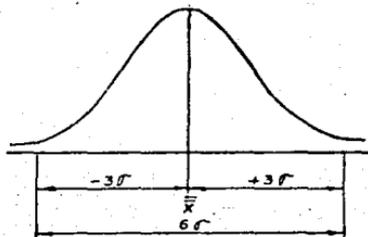


Fig. 5.4

Los límites prácticos para la distribución normal se han establecido a  $-3\sigma$  y  $+3\sigma$  del promedio ( $\bar{x}$ ), por consiguiente el total de la dispersión es  $6\sigma$ .

## 5.4.2 Características de la curva normal y obtención de datos.

Las principales características de la curva normal son:

El área bajo la curva normal es igual a la unidad ( 1 ). La curva queda definida por el promedio de las muestras (  $\bar{x}$  ) y por la desviación estándar (  $\sigma$  ).

La suma de las frecuencias de un lado de la media es igual a la suma de las frecuencias del otro lado de la media.

El área bajo la curva normal entre la ordenada de la media y la ordenada a una distancia Z de la media se determina mediante la Tabla V.17

Proporción del área total bajo la curva normal, entre la ordenada de la media y la ordenada a una distancia z desde la media

z	Segundo lugar decimal en z									
	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0200	.0240	.0279	.0319	.0359
0.1	.0399	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1481	.1519
0.4	.1556	.1594	.1632	.1669	.1706	.1743	.1780	.1817	.1854	.1891
0.5	.1928	.1964	.2001	.2037	.2073	.2108	.2144	.2179	.2214	.2249
0.6	.2284	.2319	.2354	.2389	.2424	.2458	.2493	.2527	.2561	.2596
0.7	.2630	.2664	.2698	.2732	.2766	.2799	.2833	.2867	.2900	.2934
0.8	.2967	.2999	.3032	.3064	.3096	.3128	.3159	.3191	.3222	.3253
0.9	.3284	.3314	.3344	.3374	.3404	.3434	.3463	.3493	.3522	.3551
1.0	.3580	.3608	.3636	.3664	.3691	.3719	.3746	.3773	.3799	.3826
1.1	.3853	.3879	.3906	.3932	.3957	.3982	.4008	.4032	.4057	.4082
1.2	.4107	.4131	.4156	.4179	.4202	.4226	.4249	.4272	.4295	.4318
1.3	.4341	.4364	.4387	.4409	.4431	.4453	.4475	.4496	.4517	.4538
1.4	.4559	.4580	.4601	.4621	.4641	.4661	.4681	.4700	.4719	.4738
1.5	.4757	.4775	.4793	.4811	.4829	.4847	.4864	.4882	.4899	.4916
1.6	.4934	.4950	.4967	.4984	.4999	.5013	.5028	.5042	.5056	.5069
1.7	.5083	.5096	.5109	.5121	.5133	.5145	.5156	.5167	.5178	.5188
1.8	.5199	.5209	.5219	.5228	.5236	.5245	.5253	.5261	.5269	.5276
1.9	.5284	.5291	.5298	.5305	.5312	.5319	.5325	.5331	.5337	.5343
2.0	.5349	.5354	.5359	.5364	.5368	.5374	.5378	.5382	.5386	.5390
2.1	.5394	.5398	.5399	.5403	.5406	.5409	.5412	.5415	.5418	.5421
2.2	.5424	.5426	.5428	.5430	.5432	.5434	.5436	.5437	.5438	.5439
2.3	.5440	.5441	.5442	.5443	.5444	.5445	.5446	.5446	.5447	.5447
2.4	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
2.5	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
2.6	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
2.7	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
2.8	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
2.9	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.0	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.1	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.2	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.3	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.4	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.5	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.6	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.7	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.8	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
3.9	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448
4.0	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448	.5448

Tabla V.17

Obtención de los datos.

La máquina que va a ser estudiada su capacidad se debe de preparar adecuadamente antes de su funcionamiento, al producir un número de terminado de piezas. No se debe de realizar ajustes o cambios durante la producción. Al término de la producción, todas las piezas deben de permanecer en su orden cronológico; Son medidas las características bajo prueba y las observaciones se registran en una tabla.

Se recomienda para el cálculo de  $\bar{\bar{x}}$  y  $\sigma$ , que los datos se registren en grupos de 5 y se determina el promedio y el rango de cada grupo.

Terminología empleada.

$\bar{\bar{x}}$  = Promedio de promedios.

R = Rango = Valor máx - Valor mín

x = Valores individuales.

$\sigma$  = Desviación estándar.

n = Tamaño del grupo.

N = Número de muestras.

Ejemplo: En una máquina son producidas 100 piezas de acuerdo con el dibujo ( Fig. 5.5 ) que proporcionó el Departamento de Ingeniería y Diseño, las mediciones que se efectuaron se registraron en una tabla - ( Tabla V.18 ). Se pide obtener el índice de capacidad de máquina.



Fig. 5.5

Grupo	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	$\bar{X}$	R
1	0.831	0.829	0.836	0.840	0.826	0.8324	0.014
2	0.834	0.826	0.831	0.831	0.831	0.8306	0.008
3	0.836	0.826	0.831	0.822	0.816	0.8262	0.020
4	0.833	0.831	0.835	0.831	0.833	0.8326	0.004
5	0.830	0.831	0.831	0.820	0.833	0.8290	0.013
6	0.829	0.828	0.828	0.832	0.841	0.8316	0.013
7	0.835	0.833	0.829	0.830	0.841	0.8336	0.012
8	0.818	0.838	0.835	0.834	0.830	0.8310	0.020
9	0.841	0.831	0.831	0.833	0.832	0.8336	0.010
10	0.832	0.828	0.836	0.832	0.835	0.8316	0.011
11	0.831	0.838	0.844	0.827	0.848	0.8332	0.018
12	0.831	0.826	0.828	0.832	0.827	0.8328	0.006
18	0.813	0.833	0.819	0.836	0.834	0.8270	0.028
19	0.832	0.831	0.825	0.831	0.850	0.8338	0.025
20	0.831	0.838	0.833	0.831	0.838	0.8332	0.007
						$\Sigma 16.6276$	0.287

Tabla V.18

Para cada grupo la dimensión promedio es:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{n}$$

El Rango R = V<sub>máx</sub> - V<sub>mín</sub> ( Que será aplicado a cada grupo )

Lo que sería para el grupo 1 ( Tabla V.18 ).

$$\bar{x} = \frac{0.831 + 0.829 + 0.836 + 0.840 + 0.826}{5} = 0.8324$$

$$R = 0.840 - 0.826 = 0.014$$

Y así sucesivamente hasta obtener  $\bar{x}$  y R del grupo 20

Para calcular  $\bar{x}$  y  $\bar{R}$  se utilizan las siguientes fórmulas.

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_n}{N} \dots \dots \dots ( 5.12 )$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{N} \dots \dots \dots ( 5.13 )$$

Sustituyendo los valores de la Tabla V.18 en las fórmulas ( 5.12 ) y ( 5.13 ) se obtienen  $\bar{\bar{x}}$  y  $\bar{\bar{R}}$  respectivamente.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{16.6278}{20} = 0.8313$$

$$\bar{\bar{R}} = \frac{0.287}{20} = 0.0143$$

Se calcula la dispersión de la máquina.

$$\sigma = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2} \dots\dots\dots ( 5.14 )$$

$d_2$  se obtiene en relación al tamaño de la muestra ( Tabla V.19 )

Número de observaciones en el subgrupo $n$	$d_2$
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.534
7	2.704
8	2.847
9	2.970
10	3.078
11	3.173
12	3.258
13	3.336
14	3.407
15	3.472
16	3.532
17	3.588
18	3.640
19	3.689
20	3.735
21	3.778

Estimación de  $\sigma = \bar{\bar{R}}/d_2$

Tabla V.19 Factores para estimar  $d_2$

Como  $n = 5$  ( Tabla V.18 );  $d_2 = 2.326$  que se sustituye en ( 5.14 )

$$\sigma = \frac{0.0143}{2.326} = 0.0062$$

Para obtener el índice de capacidad de máquina se aplica la fórmula

la siguiente ( 5.15 )

$$\text{ICM} = \frac{\text{Intervalo de tolerancia de la pza.}}{6\sigma} \dots\dots ( 5.15 )$$

Donde el intervalo de tolerancia  $\pm 0.010 = 0.020$  ( Fig. 5.5 )

Sustituyendo valores en ( 5.15 )

$$\text{ICM} = \frac{0.020}{0.0372} = 0.53$$

Al ICM que sea menor de 1.2 se considera inadecuado para la producción. Si la dispersión de la máquina  $6\sigma$  es más grande que el intervalo de tolerancia, la máquina no tiene la capacidad para reproducir las tolerancias ( Fig. 5.6a ), si el ICM es igual al intervalo de tolerancias cualquier desviación de  $\bar{x}$  las piezas producidas quedarán fuera de tolerancias ( Fig. 5.6b ). Un ICM 20 % mayor que el intervalo de tolerancia permitirá una variación pequeña de la  $\bar{x}$  no saliendo del intervalo y por lo tanto una producción satisfactoria ( Fig. 5.6c y ---- 5.6d ).

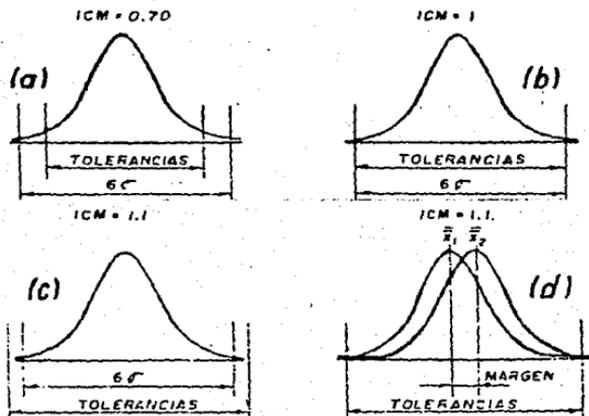


Fig. 5.6

Como se obtuvo un  $ICM < 1$  ( Fig. 5.7 ), se pueden determinar los porcentajes de piezas que se encuentran arriba y abajo de los límites de las tolerancias.

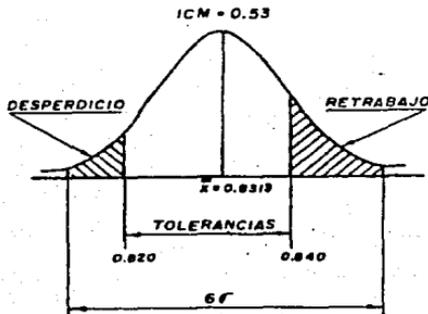


Fig. 5.7

Porcentaje de piezas arriba del límite superior de las tolerancias

Límite superior =  $D \text{ nom} + \text{tolerancia} = 0.830 + 0.010 = 0.840$

$$Z = \frac{\text{Lím sup} - \bar{x}}{\sigma} = \frac{0.840 - 0.8313}{0.0062} = 1.4$$

En la Tabla V.17 con el valor de  $Z = 1.4$  el área bajo la curva normal es  $0.4192$ . En la Fig. 5.8 el área sombreada representa el porcentaje de piezas arriba del límite superior ( que todavía tienen la opción de remaquinarlas ).  $( 0.5 - 0.4192 ) = 0.0808 = 8.08 \%$

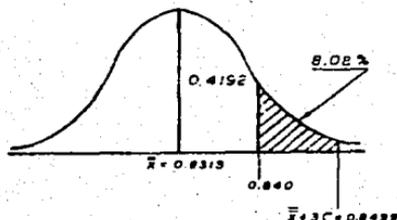


Fig. 5.8

Porcentaje de piezas abajo del límite inferior de las tolerancias

Límite inferior =  $D \text{ nom} - \text{tolerancia} = 0.830 - 0.010 = 0.820$

$$Z = \frac{\text{Lím inf} - \bar{x}}{\sigma} = \frac{0.820 - 0.8313}{0.0062} = -1.82$$

El signo ( - ) indica que el área bajo la curva se localiza a la izquierda de  $\bar{x}$ , en la Tabla V.17 se obtiene para un valor  $Z = 1.82$  el área bajo la curva normal es 0.4656. El área sombreada de la Fig. 5.9- representa el porcentaje de piezas abajo del límite inferior ( que son consideradas como desperdicio ). (  $0.5 - 0.4656$  ) =  $0.0344 = 3.44 \%$

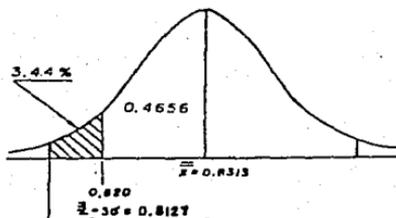


Fig. 5.9

#### 5.4.3 Modificaciones en el estudio de capacidad de máquina.

En la comparación de los límites de tolerancia natural con los límites de especificación y del intervalo de tolerancia natural con el intervalo de especificación se puede dar lugar a una serie de posibilidades de modificación. Que en un momento determinado servirán para un cambio o ajustes en el proceso.

1<sup>a</sup> Ninguna modificación.- Si los límites de tolerancia natural están dentro de los límites de especificación.

2<sup>a</sup> Modificación para ajustar el centrado.- Cuando el intervalo de tolerancia natural es casi el mismo que el intervalo de especificación se hace necesario un ajuste del centrado del proceso, para que todo el

producto cumpla con las especificaciones.

3<sup>a</sup> Modificación para reducir variabilidad.- Se requiere de un análisis complejo de las fuentes de variación, que puede dar como resultado cambios en métodos, herramientas, materiales y/o equipo.

4<sup>a</sup> Modificaciones para el cambio de especificaciones.- El hecho de que las especificaciones estén por escrito no necesariamente significa que sean inviolables, pero tampoco pueden ignorarlas sin que se causen graves problemas. Hay un límite a la cantidad de tiempo y dinero que deben invertirse en los análisis y ajustes mencionados en la -- 3<sup>a</sup> modificación antes de que el área de diseño sea notificada del problema.

5<sup>a</sup> Resignación a las pérdidas.- En este punto, la atención se debe dirigir a los costos de desecho y reprocesado, a la revisión y selección de materiales que durante el proceso resultaron inadecuados y que en alguna forma afectaron a la capacidad de la(s) máquina(s).

## CAPITULO 6 CONCLUSIONES.

## 6.1 Conclusiones.

- a) A través del presente estudio puede deducirse que todo trabajo de precisión llevado a cabo en la Ingeniería, hará posible el desarrollo de diversos recursos para mediciones rápidas y seguras con la ayuda de instrumentos de medición, ya sean micrómetros, calibradores con vernier, comparadores, etc que pueden determinar principalmente la magnitud de las características dimensionales de las piezas. Estos instrumentos constituirán la base fundamental de la Calidad en la industria-mecánica.
- b) La prevención de errores dentro de la práctica al realizar lecturas con el instrumento indicado tales como calibradores con vernier, micrómetros, comparadores, calibres pasa - no pasa, etc
- c) La importancia de la descripción de operación del calibrador - con vernier y micrómetro que son la base de las escalas de todos los aparatos e instrumentos de medición. Por lo tanto son considerados instrumentos básicos en la Metrología Geométrica Dimensional.
- d) El distinguir entre un instrumento de medición directa e indirecta, así como su sistema de funcionamiento.
- e) La indicación apropiada de la utilización de instrumentos como bloques patrón, micrómetros, calibres, etc
- f) Los métodos descritos en el presente trabajo ayudarán en la verificación de magnitudes a establecer y mantener un nivel aceptable de precisión requerido en empresas, principalmente de rama metal - mecánica.
- g) La necesidad de contar en la industria con salas o laboratorios de Metrología lo mejor equipados, claro, dependiendo de la posición económica en que se encuentren.

n) La identificación de aparatos e instrumentos apropiados para - llevar a cabo la verificación de magnitudes, y en que métodos utilizar los.

i) El aspecto determinante de que la industria cuente con personal calificado para el manejo de aparatos e instrumentos de alta precisión, lo que permitirá mejorar la Calidad de los productos.

j) La elección de aplicaciones o técnicas para llevar un Control Estadístico de Calidad, o sea que las deducciones matemáticas desglosadas en fórmulas o gráficas, correctamente aplicadas queden comprobadas satisfactoriamente, al contar con los instrumentos de precisión adecuados, pudiendo producir dentro de ciertos límites los niveles de Calidad.

k) La gran ayuda que proporciona el Control Estadístico de Calidad como es el muestreo, gráficas  $\bar{X}$ , R y capacidad de máquina indicarán cuándo se debe de buscar el problema en un determinado proceso, pero no indicará con certeza donde buscarlo y cuál será la causa.

## 6.2 Sugerencias.

a) La principal sugerencia es que se impulse la posibilidad de un proyecto de instalación de un laboratorio de Metrología Geométrica Dimensional en el área de Ingeniería Mecánica de la F.E.S. - Cuautitlán.

b) Ya que si se lleva a cabo la anterior sugerencia, este presente trabajo serviría como guía, incluso en la elaboración de prácticas para el laboratorio.

c) Si se quiere profundizar en un capítulo específico, consultar la bibliografía que se proporciona al final del presente estudio.

d) A los estudiantes o profesionistas que se interesen en el tema; actualizarse mediante catálogos y folletos de aparatos e instrumen

tos de precisión, debido a su constante desarrollo en funcionamiento, - diseño, etc.

e) Que dentro de la formación profesional de los estudiantes de - F.E.S. - C, en coordinación con las autoridades correspondientes se -- lleven a cabo prácticas profesionales en industrias, y que se apliquen en áreas donde prevalezca la Metrología Geométrica, ya que el manejo - de aparatos e instrumentos de precisión les infundirá confianza y segur ridad.

## B I B L I O G R A F I A

- Douglas M. Ross                      Manual de Instrumentación aplicada I.  
CECSA, México 1977.
- Clifford W. Kennedy                    Inspección y Calibrado.  
URMO, Madrid 1973.
- Francis Parango                        Handbook of Dimensional Measurement.  
Industrial Press Inc. U.S.A.
- Compain L.                              Metrología del Taller.  
URMO, Bilbao 1975.
- K. J. Hume                                Metrología Industrial.  
RIVERSA, Madrid 1968.
- S. Somolinos Estevez                    La Medición en el Taller Mecánico.  
CEACSA, Barcelona 1969.
- Spiegel Murray                         Statistics.  
Mc GRAW - HILL, U.S.A. 1978.
- Galicia - Lira - Méndez                Metrología Geométrica Dimensional.  
AGT EDITOR, México 1986.
- Eugene L. Grant                         Statistical Quality Control.  
Mc GRAW - HILL, U.S.A. 1974.
- Begeman y Mayron                        Procesos de Fabricación.  
CONTINENTAL, México 1973.
- Kibbe - Neely                            Manual de Máquinas - Herramientas I.  
LIMUSA, México 1986.

**M I K R O N ( Catalogue )**

**Verification of Gears.  
Russell Holbrook, New York**

**Carl Zeiss Oberkochen  
Katalog**

**Lichtschnitt - Mikroskop.  
HZ 1171, Germany No. 80**

**Micrometre Solex**

**Basse Pression.  
DOCUMENT 1B, France Paris.**

**Henrich Gearling**

**Alrededor de las Máquinas - Herra---  
mientas.  
REVERTE, México 1981.**

**Mitutoyo MFG. CO. LTD.**

**Instrumentos y Aparatos de Medición-  
de Precisión.  
Catálogo MM 180.**