

METROLOGIA Y MECANICA DE BANCO PROTOCOLO

Curso de Procesos de Manufactura



**EDICION 2007-1
FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE PRODUCCION**

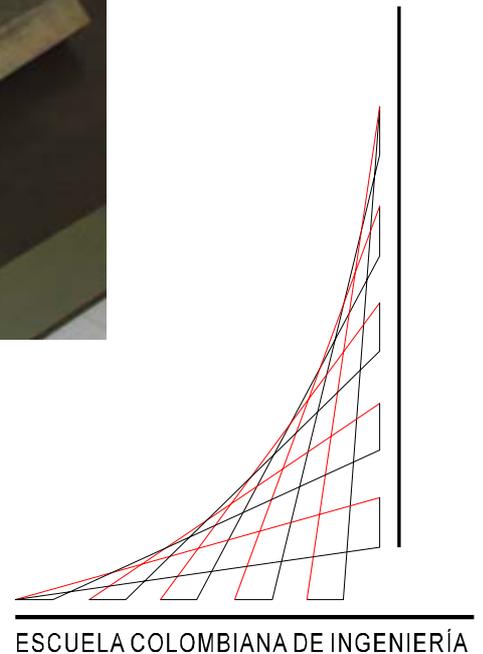


TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	4
1. ASIGNACIÓN DE TIEMPOS	5
1.1 Metrología.....	5
1.2 Mecánica de banco	6
1.3 Práctica.....	6
2. METROLOGÍA.....	7
2.1 Definición.....	7
2.2 Clasificación de la metrología.....	7
2.2.1 De acuerdo a su función.....	7
2.2.2 De acuerdo al tipo de técnica de medición.....	8
2.3 Medición	8
2.3.1 Clasificación de las mediciones.....	8
2.3.2 Explicación estadística	8
2.3.3 Pruebas estadísticas	10
2.3.4 Instrumento de medición	11
2.3.5 Precisión.....	11
2.3.6 Exactitud.....	11
2.3.7 Patrón.....	11
2.3.8 Trazabilidad.....	11
2.3.9 Confiabilidad.....	12
2.3.10 Incertidumbre de medición	12
2.3.11 Resolución.....	12
2.3.12 Rango.....	12
2.3.13 Clasificación de instrumentos y aparatos de medición en metrología dimensional.....	12
2.3.14 Reglas para efectuar mediciones	14
2.3.15 Error en las mediciones.....	14
2.4 Tolerancias y mediciones	16
2.4.1 Tolerancias.....	16
2.4.2 Tolerancia geométrica	16
2.4.3 Causas de las variaciones aleatorias	16
2.4.4 Forma de expresar las tolerancias	17
2.4.5 Sistema ISO de tolerancias	17
2.5 Ajuste.....	18
2.5.1 Ajuste móvil o con juego.....	18
2.5.2 Ajuste Indeterminado.....	19
2.5.3 Ajuste fijo o con apriete	20

2.6	Instrumentos de metrología dimensional	20
2.6.1	Calibrador Vernier	20
2.6.2	Micrómetro	23
2.6.3	Medidor de altura.....	23
2.6.4	Galga pasa/no pasa	24
2.6.5	Comparador de carátula	24
2.6.6	Galgas de espesores.....	25
2.6.7	Galgas de radios	26
2.6.8	Galgas para roscas	26
2.6.9	Compás	27
2.6.10	Calibradores telescópicos	27
2.6.11	Medidores de profundidad	28
2.6.12	Niveles de burbuja.....	28
2.6.13	Bloques patrón	29
3.	MECANICA DE BANCO	29
3.1	Trazado	29
3.2	Instrumentos de trazado	29
3.2.1	Escalas y reglas	29
3.2.2	Escuadras	30
3.2.3	Rayadores	31
3.2.4	Cabeza centradora	31
3.2.5	Compás de puntas	32
3.2.6	Martillos y punzones para trazado.....	32
3.2.7	Limas.....	33
4.	BIBLIOGRAFIA.....	34

INTRODUCCIÓN

Las personas, en cada una de las profesiones, tienen un juego de herramientas básicas que se aplican a las labores de sus trabajos. Los ingenieros químicos usan pipetas graduadas, probetas graduadas, matraces y vasos de precipitados graduados, termómetro, entre otros. Los ingenieros electromecánicos usan voltímetros, amperímetros, fuentes calibradas, reglas, calibradores vernier y micrómetros. Los ingenieros industriales usan cronómetros, micrómetros, calibradores, reglas, cámaras de televisión, entre otros.

Muchas de éstas herramientas son estándares o de propósito general, y sirven para hacer mediciones básicas. El resultado obtenido del uso de estas herramientas depende de la habilidad y la destreza del operador. Por ejemplo, la precisión obtenida depende de la cantidad de presión aplicada al elemento de medición. De este modo, los trabajadores a través del entrenamiento y la experiencia adquieren el sentido del tacto necesario para aplicarlo apropiadamente a las herramientas.

Todos los procesos de producción y servicios requieren de la medición de las variables involucradas; a través de estas es posible deducir si el proceso mejora o empeora para así tomar las decisiones adecuadas. Lo que no se mide no se puede mejorar. Por esto es importante la metrología. En cada laboratorio, taller, y línea de producción, es posible encontrar aparatos o dispositivos con escalas, estas con marcas y con números asociados a cada hecho relacionado con la metrología.

OBJETIVOS

- Definir qué es metrología
- Conocer los principios y usos de la metrología dimensional
- Familiarizarse con los términos más usados en la metrología y los instrumentos de medición: precisión, resolución, rango, exactitud.
- Conocer los tipos de errores básicos en la medición.
- Conocer los instrumentos básicos de medición.
- Aprender a usar adecuadamente los instrumentos de medición.
- Conocer y repasar las tolerancias y ajustes en metrología dimensional.
- Diferenciar los instrumentos de medición directos e indirectos.
- Aprender lo relacionado con la calibración en un instrumento de medición.

1. ASIGNACIÓN DE TIEMPOS

1.1 Metrología

TEORIA	TIEMPO (min.)
-Definición de metrología y clases.	15
-Unidades y sistemas de medición.	15
-Definiciones en la metrología. - Precisión - Rango - Resolución - Exactitud.	15
-Tipos de errores en la medición. - Aleatorio - Sistemático	15
-Reglas para hacer mediciones.	20
-Tolerancias.	20
-Ajustes. - Juego - Interferencia - Indeterminado	15
-Clasificación de instrumentos y aparatos de medición en la metrología dimensional.	25
-Instrumentos de Medición. -Calibrador Vernier. -Conocimiento, uso y demostración -Calibrador con reloj de carátula. -Conocimiento, uso y demostración -Calibrador digital. -Conocimiento, uso y demostración -Micrómetro. -Conocimiento, uso y demostración -Medidor de alturas. -Conocimiento, uso y demostración	40
TIEMPO TOTAL	180

1.2 Mecánica de banco

TEORIA	TIEMPO (min.)
-Elementos de trazado. -Conocimiento y uso de: <ul style="list-style-type: none"> - Reglillas - Goniómetro - Falsa escuadra - Escuadra para centros - Rayadores - Centro puntos - Martillos - Compás de puntas - Marcadores de letras y números 	10
-Instrumentos de corte. -Conocimientos y usos de: <ul style="list-style-type: none"> - Segueta - Cizalla - Limas - Tijeras para lámina 	10
-Elementos de sujeción. -Conocimientos y usos de: <ul style="list-style-type: none"> - Prensas - Herramientas de mano no cortantes 	10

1.3 Práctica

TEORIA	TIEMPO (min.)
-Trazado de material.	10
-Corte con segueta.	40
-Limado de caras planas a escuadra.	80
-Verificación de medidas de longitud y comparación de ángulos con instrumentos de medición.	15
-Aprobación del trabajo.	5
TIEMPO TOTAL	180

2. METROLOGÍA

2.1 Definición

La metrología es la ciencia que trata de las mediciones, de los sistemas de unidades adoptados y los instrumentos usados para efectuarlas e interpretarlas. La metrología abarca todos los campos de las ciencias: metrología térmica, metrología eléctrica, metrología acústica, metrología dimensional, etc.

La metrología es la ciencia de las medidas; en su generalidad, trata del estudio y aplicación de todos los medios propios para la medida de magnitudes, tales como: longitudes, ángulos, masas, tiempos, velocidades, potencias, temperaturas, intensidades de corriente, etc. Por esta enumeración, limitada voluntariamente, es fácil ver que la metrología entra en todos los dominios de la ciencia.

2.2 Clasificación de la metrología

2.2.1 De acuerdo a su función

2.2.1.1 Metrología legal

La metrología legal tiene por función establecer el cumplimiento de la legislación metrológica oficial como: conservación y empleo de los patrones internacionales primarios y secundarios, así como mantener laboratorios oficiales que contrasten las mediciones comerciales contra los patrones oficiales.

2.2.1.2 Metrología científica

La metrología científica tiene por función buscar y materializar los patrones internacionales para que éstos sean más fáciles de reproducir a nivel internacional, encontrar los patrones más adecuados para los descubrimientos que se hagan en el futuro y analizar el sistema internacional de medidas, con el objeto de elaborar las normas correspondientes. No está relacionada con los servicios de calibración que se hacen en la industria y el comercio.

2.2.1.3 Metrología industrial

Tiene por función dar servicio de medición y calibración de patrones y equipos a la industria y comercio. Compete a los laboratorios autorizados.

2.2.2 De acuerdo al tipo de técnica de medición

- Metrología geométrica o dimensional
- Metrología eléctrica
- Metrología química
- Metrología fotométrica
- Metrología de presión o neumática
- Metrología acústica
- Metrología de tiempo y frecuencia
- Metrología óptica

Y así sucesivamente, según las muchas áreas de la ciencia física.

2.3 Medición

La medición sirve para la determinación de tamaño, cantidad, peso o extensión de algo, que describe a un objeto mediante magnitudes numéricas. Esta proporciona una manera fácil, casi única, de controlar la forma en que se dimensionan las partes. Tiene como propósito reconocer el tamaño exacto de las partes y facilitar la inspección ágil, sujeta a requerimientos y especificaciones determinados, de antemano, a la fabricación.

2.3.1 Clasificación de las mediciones

2.3.1.1 Medición directa

La medición directa es la que se realiza con la ayuda de aparatos graduados como los son: la regla, el metro, el calibrador Vernier, entre otros.

2.3.1.2 Medición indirecta

Cuando se dificulta medir directamente una magnitud, ya sea porque no se cuenta con el instrumento adecuado o la magnitud es de difícil acceso, es posible efectuar una estimación de dicha magnitud a través de un cálculo matemático o bien in instrumento de medición intermedio.

2.3.2 Explicación estadística

Para explicar la parte estadística en la metrología, empecemos con una pequeña definición sobre la desviación estándar. La desviación estándar (σ) es el promedio de lejanía de los puntajes (datos) respecto del promedio (μ).

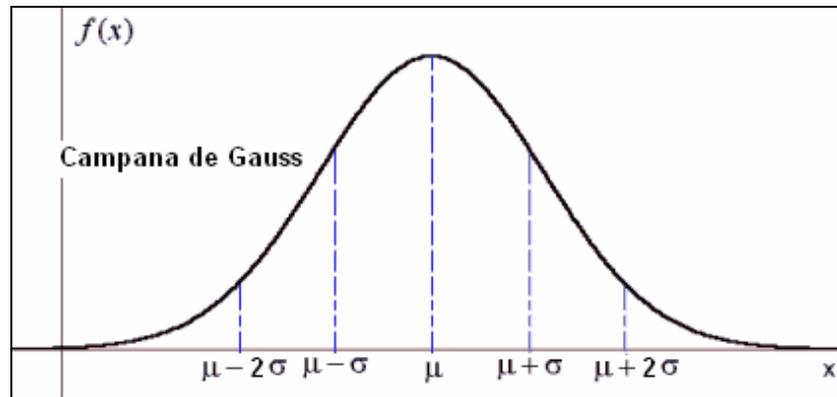


Figura 1. Campana de Gauss mostrando una y dos desviaciones estándar.

La diferencia entre exactitud y precisión se muestra a continuación:

- a) En la figura 2, el error aleatorio en la medición es grande (campana de gauss muy abierta), e indica una precisión baja; pero el valor de la medida de medición (el promedio) coincide con el valor verdadero, o sea una exactitud alta.

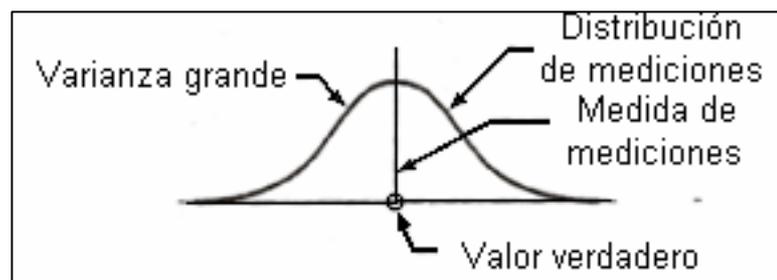


Figura 2. Exactitud alta, pero precisión baja.

- b) En la Figura 3, el error de medición es pequeño (buena precisión), pero el valor medido difiere sustancialmente del valor verdadero (baja exactitud).

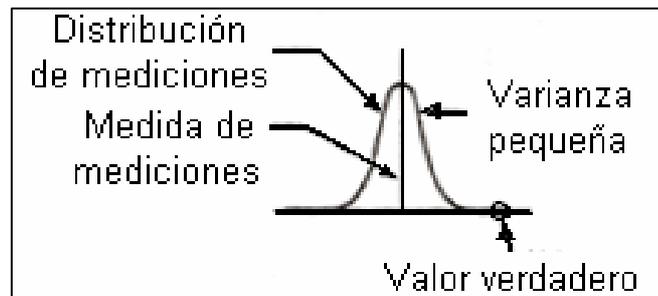


Figura 3. Exactitud baja, pero precisión alta.

- c) En la Figura 4, son buenos tanto la exactitud como la precisión.

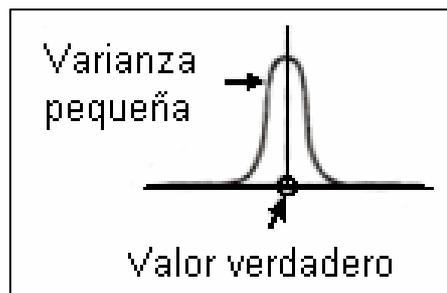


Figura 4. Exactitud y precisión alta.

Todos los procesos de medición tienen variaciones aleatorias por lo que un conjunto de mediciones se puede representar como una función de probabilidad. Una manera de disminuir las implicaciones de estas variaciones sobre un resultado esperado es expresando las mediciones con un rango de tolerancias aceptable; también existe otra manera de reducir las variaciones aleatorias especificando el nivel de incertidumbre asociado a las mediciones.

2.3.3 Pruebas estadísticas

Para evaluar la precisión de las mediciones, el analista debe utilizar métodos estadísticos, los cuales incluyen límites de confianza, rechazo de puntos aberrantes, análisis de regresión para establecer gráficas de calibración, pruebas de significación, cálculo de la desviación estándar, entre otros. En la figura 1, se muestra en forma teórica la variación de un juego de datos, indicando la medida y la desviación estándar.

2.3.4 Instrumento de medición

Un instrumento de medición es un equipo, aparato o máquina que realiza la lectura de una propiedad (o característica) de una variable aleatoria, la procesa, la traduce y la hace entendible al analista encargado de la medición.

2.3.4.1 Calibración

Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un "instrumento de medición", o los representados por una medida materializada, y los valores conocidos correspondientes de una magnitud medida. En otras palabras: Es el conjunto de operaciones que tienen por finalidad determinar los errores de un instrumento de medición, y en caso necesario otras características metrológicas.

2.3.4.2 Calibración del instrumento

Para garantizar la uniformidad y la precisión de las medidas, los instrumentos de medición se calibran conforme a los patrones nacionales de pesos y medidas aceptados internacionalmente para una determinada unidad de medida, como el ohmio, el amperio, el voltio o el vatio, centímetro, micras, grados, gramos, kilos, etc.

Muchas empresas e instituciones se dedican a dar servicios de calibración y asesorías.

2.3.5 Precisión

Se habla de precisión cuando existe la ausencia de errores sistemáticos. Es el grado de similitud entre dos o varias mediciones consecutivas del mismo objeto, con el mismo aparato y con el mismo procedimiento (incluida la persona).

2.3.6 Exactitud

Concordancia de una medición con el valor verdadero conocido, para la cantidad que se está midiendo. Desviación entre el valor medido y el valor de un patrón de referencia tomado como verdadero.

2.3.7 Patrón

Instrumento de medición destinado a definir o materializar, conservar o reproducir la unidad o varios valores conocidos de una magnitud, para transmitirlos por comparación a otros instrumentos.

2.3.8 Trazabilidad

Propiedad de un resultado de medición consistente en poderlo relacionar a los patrones apropiados, generalmente internacionales o nacionales,

mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones, respaldados por informes escritos y certificados (en tiempo y lugar) por autoridad competente.

2.3.9 Confiabilidad

Condición en la cual los resultados obtenidos son iguales a los resultados deseados o previstos. Asociada a la confiabilidad existe la contraparte llamada incertidumbre de medición.

2.3.10 Incertidumbre de medición

Estimación que caracteriza el intervalo de valores dentro de los cuales se encuentra el valor verdadero de la magnitud.

2.3.11 Resolución

Es la menor división o la lectura más pequeña que se puede hacer en un instrumento de medición.

2.3.12 Rango

Indica cual es la medición mínima y máxima que se puede realizar con un determinado instrumento de medición.

2.3.13 Clasificación de instrumentos y aparatos de medición en metrología dimensional

A continuación se presenta una manera de clasificar los instrumentos de medición dimensional, basado en el método de leer la respuesta:

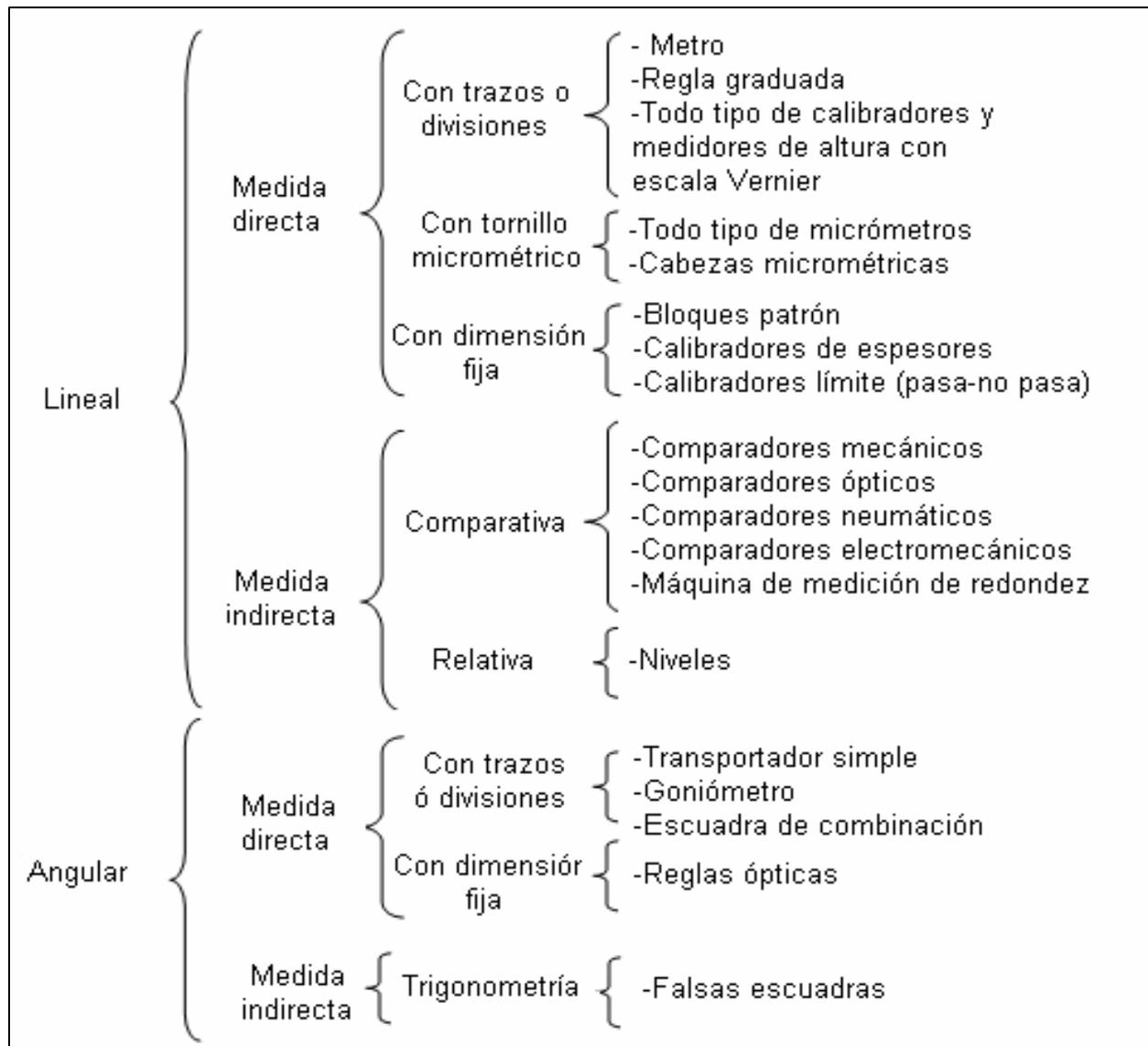


Figura 4. Clasificación de instrumentos.

2.3.14 Reglas para efectuar mediciones

Cada vez que haga una medición, es importante tener en cuenta las siguientes reglas para obtener resultados óptimos:

- Al hacer mediciones, se debe emplear el instrumento que corresponde a la precisión exigida.
- Mirar siempre verticalmente sobre el lugar de lectura (error de paralaje).
- Limpiar las superficies del material y el instrumento de medición antes de las mediciones.
- Desbarbar la pieza de trabajo antes de la medición.
- En mediciones de precisión, prestar atención a la temperatura de referencia tanto en el objeto como en el aparato de medición.
- En algunos instrumentos de medición, prestar atención para que la presión de medición sea exacta. No se debe emplear jamás la fuerza.
- No hacer mediciones en piezas de trabajo en movimiento o en maquinas en marcha.
- Verificar instrumentos de medición regulables repetidas veces respecto a su posición a cero.
- Verificar en intervalos periódicos los instrumentos de medición en cuanto a su precisión de medición.

2.3.15 Error en las mediciones

Los errores son pequeñas variaciones de lectura debido a imperfecciones ó variaciones de:

- Los sentidos del operador (tacto, vista, oído, gusto, olfato)
- Los instrumentos de medición
- Los métodos de medición
- Las condiciones ambientales
- Cualquier otra causa que afecte la medición (concentración, entrenamiento)

Desde el punto de vista de la magnitud de la variable medida, también se puede definir como el resultado de una medición menos el valor verdadero de la magnitud medida.

2.3.15.1 Tipo de errores

Todo procedimiento de medición puede tener dos tipos de errores: error sistemático ó error aleatorio.

2.3.15.1.1 Errores sistemáticos

Generalmente se presentan en forma regular y tienen un valor constante. Son aquellos que obedecen a la presencia de una causa permanente y adquieren siempre igual valor cuando se opera en igualdad de circunstancias, pueden atenuarse o eliminarse. Se debe al manejo inadecuado o descalibración del instrumento, pureza inadecuada de reactivos o métodos de medición incorrectos. Este tipo de error no puede reducirse por técnicas estadísticas, pero el error sistemático puede identificarse y minimizarse modificando el procedimiento de medición.

2.3.15.1.2 Errores aleatorios

También llamados accidentales o fortuitos. Son aquellos que se originan por causas accidentales y se presentan indistintamente con diversas magnitudes y sentidos. Se debe a la naturaleza misma de las mediciones de variables continuas y a la naturaleza del instrumento (ruido térmico, golpeteo y/o fluctuaciones). El error aleatorio es un error indeterminado y puede minimizarse con técnicas estadísticas.

2.3.15.2 Clasificación de errores en cuanto a su origen

Los errores en cuanto a su origen se clasifican en: errores por instrumento ó equipo de medición ó errores del operador (esto es, método de medición).

2.3.15.2.1 Errores por instrumento ó equipo de medición

Las causas de errores atribuibles al instrumento, pueden deberse a defectos de fabricación. Éstos pueden ser deformaciones, falta de linealidad, imperfecciones mecánicas, falta de paralelismo, etc. El error instrumental tiene valores máximos permisibles, establecidos en normas o información técnica de fabricantes de instrumentos, y pueden determinarse mediante calibración.

2.3.15.2.2 Errores del operador ó método de medición

Muchas de las causas del error aleatorio se deben al operador, por ejemplo: falta de agudeza visual, descuido, cansancio, alteraciones emocionales, etc. Para reducir este tipo de errores es necesario adiestrar al operador. Otro tipo de errores son debidos al método o procedimiento con que se efectúa la medición, el principal es la falta de un método definido y documentado.

2.4 Tolerancias y mediciones

Todas las piezas de un tamaño uniforme y resultante de un mismo procedimiento de fabricación, deberían ser exactamente iguales en sus dimensiones, pero por las variaciones normales de los procesos de manufactura se permiten pequeñas variaciones que no impidan el desempeño de la pieza en el sistema del cual son una parte.

2.4.1 Tolerancias

Es la cantidad total que le es permitido variar a una dimensión determinada y es la diferencia entre los límites superior e inferior especificados. Es la máxima diferencia que se admite entre el valor nominal y el valor real, o efectivo entre las características físicas o químicas de un material, pieza o producto.

2.4.2 Tolerancia geométrica

Se especifican para aquellas piezas que han de cumplir funciones de gran importancia con otros elementos. Las tolerancias geométricas pueden controlar formas individuales o definir relaciones entre distintas formas. Se pueden clasificar en:

- Tamaños: dimensiones específicas.
- Formas primitivas: rectitud, redondez, cilindridad.
- Formas complejas: perfil, superficie.
- Orientación: paralelismo, perpendicularidad, inclinación.
- Ubicación: concentricidad, posición.
- Oscilación: circular, radial, axial o total.

2.4.3 Causas de las variaciones aleatorias

Las principales causas de las variaciones son:

- El calentamiento de las maquinas y/o piezas fabricadas.
- Desgaste de las herramientas.
- Vibraciones en la maquina herramienta.
- Falta de homogeneidad de la materia prima.
- Distorsiones de la pieza durante la fabricación.

2.4.4 Forma de expresar las tolerancias

Las tolerancias se clasifican en unilaterales y bilaterales. Son unilaterales las que permiten variaciones hacia valores mas grandes o mas pequeños, pero no ambos; son bilaterales las que permiten variaciones hacia ambos lados de la medida nominal. Se pueden expresar de la siguiente forma:

- Medida dimensional seguida de la variación unilateral o bilateral permitida: $30^{+0.110}_{+0.021}$ mm.
- Medida dimensional del límite superior seguida del límite inferior: [30.11-30.131]
- Notación ISO: 30^{C7}

2.4.5 Sistema ISO de tolerancias

El Sistema ISO de tolerancias define veintisiete posiciones diferentes para las zonas de tolerancia, situadas respecto a la línea cero. Se definen por unas letras (mayúsculas para agujeros y minúsculas para ejes). Ver anexo 1 (tablas correspondientes a ejes y agujeros).

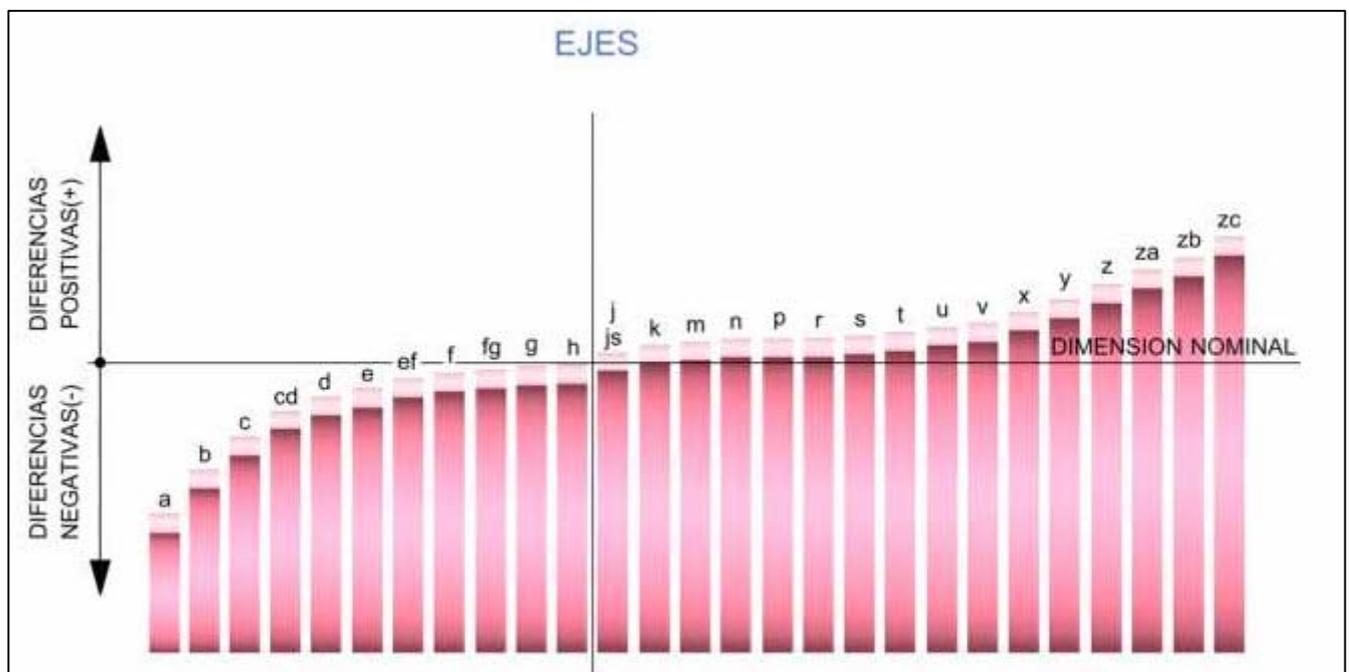


Figura 5. Posición de las tolerancias en ejes.

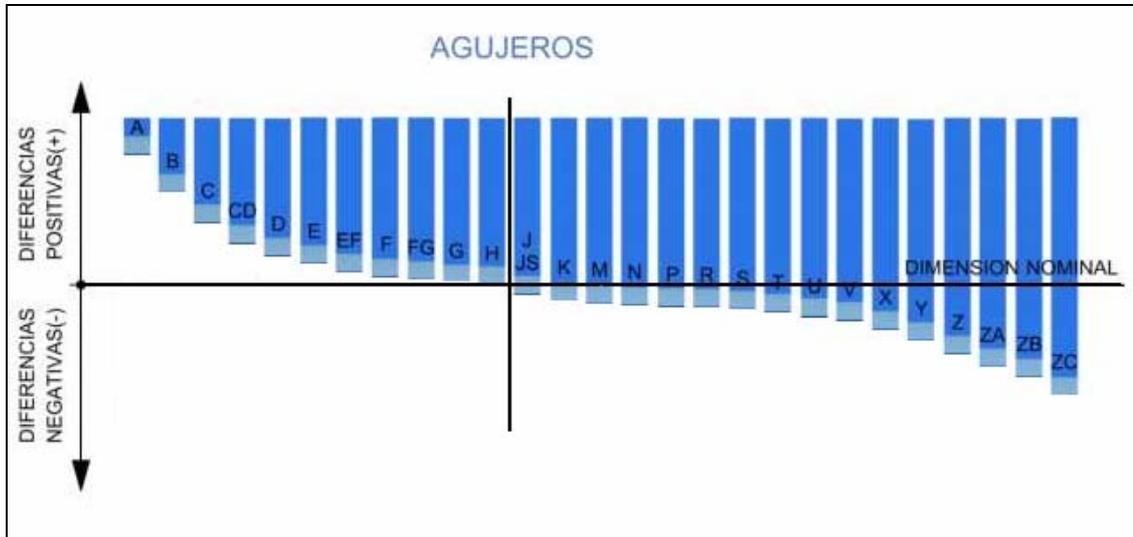


Figura 6. Posición de las tolerancias en agujeros.

2.5 Ajuste

Se llama ajuste a la diferencia entre las medidas antes del montaje de dos piezas que han de acoplar. Dependiendo la zona de tolerancia de la medida interior y exterior, el ajuste puede ser: ajuste móvil o con juego, ajuste indeterminado o ajuste fijo o con apriete.

2.5.1 Ajuste móvil o con juego

Si la diferencia de los diámetros del agujero y del eje es positiva, es decir, cuando la dimensión real del eje es menor que la del agujero, se dice que el ajuste es móvil o con juego.

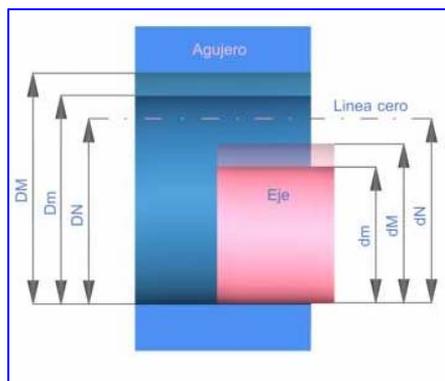


Figura 7. Ajuste móvil

2.5.1.1 Juego mínimo

El juego mínimo es la diferencia entre la medida mínima del agujero y la máxima del eje.

2.5.1.2 Juego máximo

El juego máximo es la diferencia entre la medida máxima del agujero y la mínima del eje.

2.5.2 Ajuste Indeterminado

Se denomina ajuste indeterminado a un tipo de ajuste en el que la diferencia entre las medidas efectivas de agujero y eje puede resultar positivo o negativo, dependiendo de cada montaje concreto.

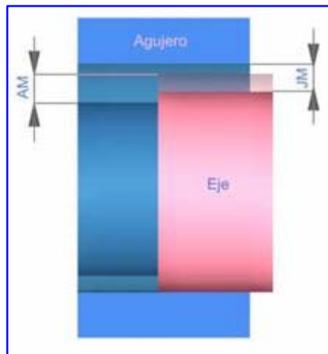


Figura 8. El apriete máximo es igual al juego Máximo

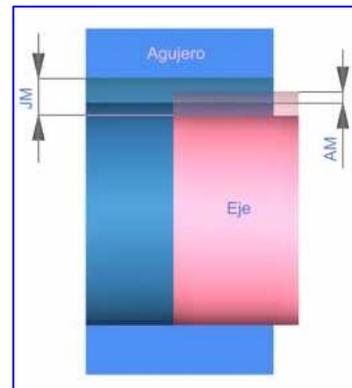


Figura 9. El valor del juego máximo supera al apriete máximo

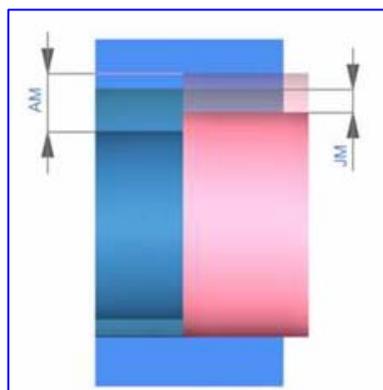


Figura 10. El apriete máximo es superior al Juego máximo

2.5.3 Ajuste fijo o con apriete

Se define ajuste con apriete cuando la diferencia entre las medidas efectivas de eje y agujero es positiva, es decir, cuando la dimensión real del eje es mayor que la del agujero.

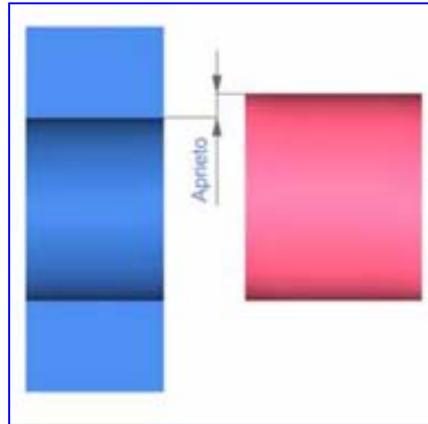


Figura 11. Ajuste con apriete

2.6 Instrumentos de metrología dimensional

Al comenzar el estudio de las prácticas en el trabajo con máquinas herramienta, una de las primeras preocupaciones será asimilar el uso, cuidado y aplicaciones de los instrumentos comunes de medición que encontrará en el Laboratorio de Manufactura.

Muchos instrumentos de medición han experimentado una modernización, aún cuando la función de estas herramientas es básicamente la misma, muchas se han rediseñado y dotado de dispositivos de exhibición digitales, mecánicos o electrónicos. Estas características hacen que el instrumento sea más fácil de leer y mejoran su exactitud.

Durante la práctica se conocerán las técnicas de medición con cada tipo de calibrador.

2.6.1 Calibrador Vernier

El calibrador Vernier es uno de los instrumentos mecánicos para la medición lineal de exteriores, medición de interiores y de profundidades más utilizado. Los calibradores permiten realizar lecturas con aproximación en escala métrica hasta 0.05 mm ó 0.02 mm y en escala inglesa de 1/128 pulgadas ó 0.001 pulgadas.

Un calibrador Vernier es una herramienta de precisión delicada y debe tratarse como tal y es muy importante que se aplique la presión correcta al tomar una medida. Las mordazas de medición deben hacer contacto firme con la pieza de trabajo, sin embargo, si se aplica presión excesiva, se hará que se abran las mordazas y que se obtengan lecturas inexactas. Al medir un objeto utilice la mordaza fija como punto de referencia, luego mueva la mordaza deslizante hasta que logre el contacto. Asegúrese que la regla del calibrador esté en línea con las superficies que se estén midiendo, si es posible haga la lectura estando todavía en contacto con la pieza de trabajo, al retirar el instrumento podría cambiar la lectura. Para la medición de profundidades, situar la varilla de profundidad al fondo de la pieza. Toda medida debe tomarse por lo menos dos veces para asegurar su confiabilidad.

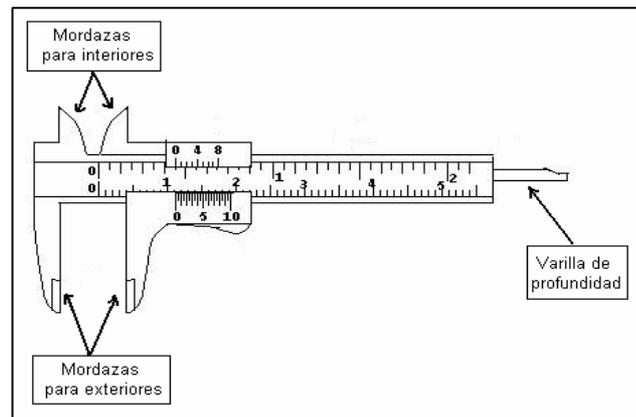


Figura 12. Calibrador Vernier.

2.6.1.1 Calibrador de carátula

El calibrador de carátula está equipado con un indicador de carátula en lugar de un nonio para permitir la lectura fácil de la escala.



Figura 14. Calibrador de carátula en función de medición de interiores.



Figura 13. Calibrador de carátula en función de medición de exteriores.

2.6.1.2 Calibrador digital

Utiliza un sistema electrónico que funciona en relación directa con una escala registrada por un elemento sensor. La lectura es presentada en una pantalla alfanumérica y puede ser configurado para presentar sus lecturas en submúltiplos de las escalas más utilizadas.



Figura 15. Calibrador Vernier digital en función de medición de interiores.



Figura 16. Calibrador Vernier digital en función de medición de exteriores.

2.6.2 Micrómetro



El micrómetro es una herramienta para tomar mediciones más precisas, que las que se toman con el calibrador Vernier. El micrómetro posee un tornillo de alta precisión el cual permite el pequeño movimiento del husillo, posteriormente es el que determinará la medida de la pieza que se este calculando.

Figura 17. Micrómetro.

2.6.3 Medidor de altura

El medidor de altura es un dispositivo para medir la altura de piezas o las diferencias de altura entre planos a diferentes niveles.



También se utiliza como herramienta de trazado, para lo cual se incluye un buril.

El medidor de altura, creado por medio de la combinación de una escala principal con un vernier para realizar mediciones rápidas y exactas, cuenta con un solo palpador (media mordaza) y la superficie sobre la cual descansa, actúa como plano de referencia para realizar las mediciones.

Figura 18. Medidor de altura.

2.6.4 Galga pasa/no pasa

Dispositivos diseñados para verificar las dimensiones de una parte en sus límites de tamaño superior e inferior, de acuerdo con las tolerancias especificadas por las normas.



Figura 19. Galga pasa/no pasa.

2.6.5 Comparador de carátula



Instrumento de medición en el cual un pequeño movimiento del husillo se amplifica mediante un tren de engranajes que se mueven en forma angular. Una aguja es la encargada de indicar el resultado sobre la carátula del dispositivo. La aguja indicadora puede dar tantas vueltas como lo permita el mecanismo de medición del aparato.

Este indicador se monta en un soporte diseñado para mediciones específicas como espesores, profundidades, exteriores y variaciones.

Figura 20. Comparador de carátula.

2.6.6 Galgas de espesores

Estos medidores consisten en láminas delgadas que tiene marcado su espesor y que son utilizadas para medir pequeñas aberturas o ranuras. El método de medición consiste en introducir una galga de espesores dentro de la abertura, si entra fácilmente, se prueba con la mayor siguiente disponible, si no entra vuelve a utilizarse la anterior. Debe tenerse cuidado de no forzar las galgas ni introducirlas en ranuras que tengan rebabas o superficies ásperas porque esto las dañaría.



Figura 22. Galgas en función de medir el espesor de la ranura.



Figura 21. Galgas de espesores.

2.6.7 Galgas de radios

Son una serie de láminas, marcadas en milímetros y pulgadas con los correspondientes radios cóncavos y convexos, formados en diversas partes de la lámina, tal como lo muestra la figura. La inspección se realiza determinando que patrón se ajusta mejor al borde de una pieza.



Figura 24. Galgas de radios.



Figura 23. Galgas en función de medir el radio de la pieza.

2.6.8 Galgas para roscas

Tiene una serie de láminas que corresponden a la forma de rosca de varios pasos (hilos por pulgada). Los valores están indicados sobre cada lámina. Lo único que debe hacerse es probar con diferentes láminas hasta que una asiente adecuadamente en las estrías (roscas) del tornillo o tuerca.

Figura 25. Calibrador de roscas.



2.6.9 Compás

Antes de que instrumentos como el calibrador Vernier fueran introducidos en los laboratorios, las partes eran medidas con compás y regla. El uso del compás en la actualidad está restringido, ya que su uso requiere habilidad (tacto), y no es posible lograr gran exactitud; en algunos casos sólo se utiliza en el taller para realizar trazos antes de mecanizar las piezas.



Figura 26. Compases de medición externa y medición interna.

2.6.10 Calibradores telescópicos



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

Figura 27. Calibrador telescópico.

2.6.11 Medidores de profundidad



El medidor de profundidad esta diseñado para medir las profundidades de agujeros y ranuras, así como la diferencia de altura entre peldaños y planos. Sus sistemas de graduación y construcción son básicamente los mismos que los empleados en los calibradores Vernier.

Figura 28. Medidor de profundidad.

2.6.12 Niveles de burbuja

Los niveles de burbuja son los instrumentos más comúnmente utilizados para inspeccionar la posición horizontal ó vertical de superficies y evaluar la dirección y magnitud de desviaciones menores de esa condición nominal.



Figura 29. Niveles de burbuja

2.6.13 Bloques patrón

Instrumento de control destinado a definir o materializar, conservar o reproducir la unidad o varios valores conocidos de una magnitud, para transmitirlos por comparación a otros instrumentos.



Figura 30. Bloques patrón

3. MECANICA DE BANCO

3.1 Trazado

Es el proceso de hacer marcas de referencia sobre la pieza de trabajo, indicando la forma y tamaño de una parte o sus características. Las marcas de trazado indican a menudo las partes en las que ha de realizarse el mecanizado. En el laboratorio se harán trabajos de trazado para corte de fracciones de las piezas, limado y esmerilado a mano.

3.2 Instrumentos de trazado

3.2.1 Escalas y reglas

Una regla es un instrumento para tomar medidas lineales, cuyas graduaciones (con subdivisiones) representan unidades reales de longitud. Una escala está graduada en unidades alteradas en forma proporcional y exacta, que son más pequeñas o más grandes que las unidades reales que representan; esto se hace por conveniencia cuando se necesita usar medidas proporcionales. Se deben guardar separadas de las herramientas de mano y nunca deben usarse como destornillador.

Uno de los errores que se presentan es el de paralaje, cuando el observador que hace la medida no está en línea con la pieza de trabajo y la escala.

3.2.2 Escuadras

La escuadra es un instrumento para comparación de medidas porque compara su propio grado de perpendicularidad con un grado desconocido de la pieza de trabajo. Entre los tipos comunes de escuadras, podemos encontrar en el laboratorio el juego de combinación que consta de: escala graduada, cabeza de escuadra, transportador de plano inclinado y cabeza centradora, útil porque puede situarse de acuerdo a las graduaciones; la escuadra de precisión de plano inclinado que permite tener una sola línea de contacto con la parte que se va a verificar; y la escuadra cilíndrica de lectura directa que consiste en un cilindro de precisión con uno de sus extremos a escuadra respecto al eje del cilindro.

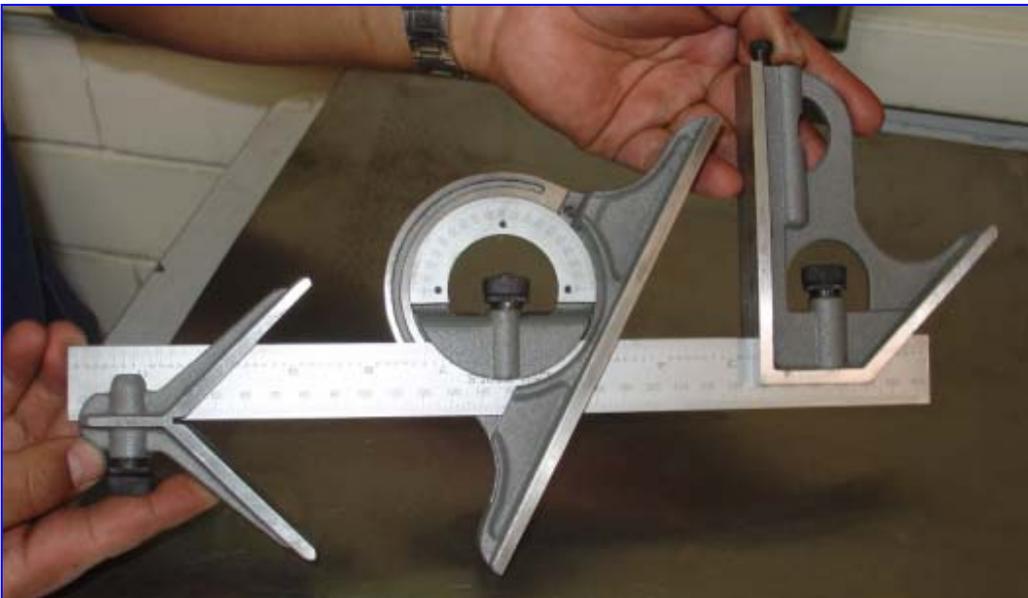


Figura 31. Juego de combinación.

3.2.3 Rayadores

El rayador de bolsillo tiene una punta removible que puede guardarse en el mango; el rayador para ingenieros tiene un extremo recto y otro en forma de gancho, que permite tener acceso más fácil a la línea que ha de rayarse; el rayador para ajustes tiene solo un extremo con punta fija, siempre deben mantenerse afilados. Cuando se raya contra el borde de una regla, debe sostenerse firmemente, luego incline el rayador de manera que la punta marque lo más cerca de la regla que sea posible, esto asegura la exactitud.

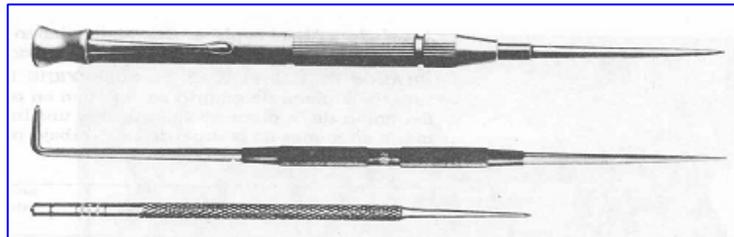


Figura 32. Rayadores.

3.2.4 Cabeza centradora

La cabeza centradora se usa para trazar líneas de centros en las piezas de trabajo redondas. Cuando se sujeta la cabeza centradora a la escala de acero del juego de combinación con prensa de presión, el borde de la escala está alineado con un centro de círculo.



Figura 33. Uso de la cabeza centradora.

3.2.5 Compás de puntas

Puede ser de muelle o de resorte, la separación de las puntas se ajusta haciendo girar el tornillo de ajuste y sobre una escala generalmente se realiza su ajuste; al igual que los rayadores las puntas de los compases deben mantenerse afiladas y a la misma longitud.



Figura 34. Compás de punta

3.2.6 Martillos y punzones para trazado

Son por lo general martillos de bola, de poco peso, no debe usarse un martillo pesado porque tiende a crear marcas de punzón innecesariamente grandes.

El punzón de trazado o punzón para puntear tiene un ángulo de 30° en la punta y es el único que debe usarse para el trazado. El punzón para centros tiene un ángulo de 90° en la punta y se usa para marcar la pieza de trabajo antes de operaciones de maquinado tales como el taladrado, no debe usarse un punzón de centros en lugar de uno de trazado, ni a la inversa.



Figura 35. Martillo de trazado.

3.2.7 Limas

Las limas son herramientas de metal cuya misión es la de facilitar el pulido en distintos materiales. En función de las formas y las funciones de cada una, existen varios tipos de limas:



Figura 36. Juego de limas.

- **Limas para madera**

Estas suelen ser de sección rectangular, planas y de bordes paralelos, y en muchos casos con una sola cara abrasiva. Se usan para el pulido de superficies que previamente han sido atacadas por escofinas.

- **Limas para metal**

Estas son de muy diversas formas y granulados. Si se hace una división según su sección vemos que hay:

- **Limas planas con igual anchura en toda su longitud o con la punta ligeramente convergente**

Las superficies de abrasión pueden ser las dos caras y los cantos, pero también las hay sin abrasión en los cantos, es decir lisos, y que permiten trabajar en rincones en los que interesa actuar tan sólo sobre un lado y respetar el otro.

- **Limas de media caña**

Una cara plana y otra redondeada, con una menor anchura en la parte de la punta. Son las más recurridas, ya que se pueden utilizar tanto para superficies planas como para rebajar asperezas y resaltes importantes o para trabajar en el interior de agujeros de radio relativamente grande.

- **Limas redondas**

Son las que se usan si se trata de pulir espacios circulares.

- **Limas triangulares**

Sirven para atacar ángulos entrantes e inferiores a 90°.

- **Limas planas**

Dentro de estas limas están los limadores, que se utilizan para trabajos esmerilados y de precisión. Este tipo de limas, cuyo grano es mucho más fino, se vende en juegos con las diferentes modalidades antes mencionadas.

4. BIBLIOGRAFIA

- GONZÁLEZ GONZÁLEZ CARLOS. Metrología. Editorial McGraw Hill.
- Herratec. Toolmex Corporation. Catálogo de Herramientas e instrumentos de medición.
- WHITE WARREN T. Manual de Máquinas Herramientas.
- http://www.gig.etsii.upm.es/gigcom/temas_di2/dimensionales

Grupos de diámetros (mm.)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
d ?3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3 ?d ?6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6 ?d ?10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10 ?d ?18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18 ?d ?30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30 ?d ?50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50 ?d ?80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80 ?d ?120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120 ?d ?180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180 ?d ?250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250 ?d ?315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315 ?d ?400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400 ?d ?500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
	Ultraprecisión		Calibre y piezas de gran precisión			Piezas o elementos destinados a ajustar							Piezas o elementos que no han de ajustar					

TABLA I. Valores numéricos de amplitudes de zonas de tolerancia

Posición	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc			
Calidad	Todas las calidades											5 y 6	7	8	≥ 4 ≤ 7	< 4 > 7	Todas las calidades																
Diferencia fundamental	Diferencia superior d_s											Diferencia inferior d_i																					
$d \leq 3$	-270	-140	-80	-34	-20	-14	-10	-8	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60			
$3 < d \leq 6$	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4	-	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80			
$6 < d \leq 10$	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	-	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97			
$10 < d \leq 14$	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0	-3	-6	-	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130			
$14 < d \leq 18$																							+39	+45	-	+60	+77	+108	+150				
$18 < d \leq 24$	-300	-180	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0	-4	-8	-	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188			
$24 < d \leq 30$																						+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218			
$30 < d \leq 40$	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0	-5	-10	-	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274			
$40 < d \leq 50$	-320	-180	-130																			+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325			
$50 < d \leq 65$	-340	-190	-140	-	-100	-60	-	-30	-	-10	0	-7	-12	-	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405			
$65 < d \leq 80$	-360	-200	-150																	+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480			
$80 < d \leq 100$	-380	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0	-9	-15	-	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585			
$100 < d \leq 120$	-410	-240	-180																	+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690			
$120 < d \leq 140$	-460	-260	-200																	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800			
$140 < d \leq 160$	-520	-280	-210	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0	-11	-18	-	+3	0	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900			
$160 < d \leq 180$	-580	-310	-230																	+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000			
$180 < d \leq 200$	-660	-340	-240																	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150			
$200 < d \leq 225$	-740	-380	-260	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0	-13	-21	-	+4	0	+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250			
$225 < d \leq 250$	-820	-420	-280																	+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350			
$250 < d \leq 280$	-920	-460	-300	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0	-16	-26	-	+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550			
$280 < d \leq 315$	-1050	-540	-330																	+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700			
$315 < d \leq 355$	-1200	-600	-360	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0	-18	-28	-	+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900			
$355 < d \leq 400$	-1350	-680	-400																	+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100			
$400 < d \leq 450$	-1500	-760	-440	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-	+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400			
$450 < d \leq 500$	-1650	-840	-480																	+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600			

Para la posición js, $d_i = -IT/2$ y $d_s = IT/2$

TABLA II. Diferencias fundamentales para ejes (en micras)

Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js
Calidad	Todas las calidades											
Diámetro	Diferencia inferior Di											
d 3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	IT/2
3 d 6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0	
6 d 10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0	
10 d 18	290	150	95		50	32		16		6	0	
18 d 30	300	160	110		65	40		20		7	0	
30 d 40	310	170	120		80	50		25		9	0	
40 d 50	320	180	130									
50 d 65	340	190	140		100	60		30		10	0	
65 d 80	360	200	150									
80 d 100	380	220	170		120	72		36		12	0	
100 d 120	410	240	180									
120 d 140	460	260	200									
140 d 160	520	280	210		145	85		43		14	0	
160 d 180	580	310	230									
180 d 200	660	340	240									
200 d 225	740	380	260		170	100		50		15	0	
225 d 250	820	420	280									
250 d 280	920	480	300		190	110		56		17	0	
280 d 315	1050	540	330									
315 d 335	1200	600	360		210	125		62		18	0	
335 d 400	1350	680	400									
400 d 450	1500	760	440		230	135		68		20	0	
450 d 500	1650	840	480									

Posición	J			K				M					N					P			
Calidad	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	5	6	7	
Diámetro	Diferencia superior Ds																				
d 3	2	4	6	0	0	0	0	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	6	6	6	6
3 d 6	5	6	10	0	2	3	5	3	1	0	2	4	7	5	4	2	0	11	9	8	12
6 d 10	5	8	12	1	2	5	6	4	3	0	1	6	8	7	4	3	0	13	12	9	15
10 d 18	6	10	15	2	2	6	8	4	4	0	2	7	9	9	5	3	0	15	15	11	18
18 d 30	8	12	20	1	2	6	10	5	4	0	4	8	12	11	7	3	0	19	18	14	22
30 d 40	10	14	24	2	3	7	12	5	4	0	5	9	13	12	8	3	0	22	21	17	26
40 d 50																					
50 d 65	13	18	28		4	9	14	6	5	0	5	11	15	14	9	4	0	27	26	21	32
65 d 80																					
80 d 100	16	22	34	2	4	10	16	8	6	0	6	13	18	16	10	4	0	32	30	24	37
100 d 120																					
120 d 140																					
140 d 160	18	26	41	3	4	12	20	9	8	0	8	15	21	20	12	4	0	37	36	28	43
160 d 180																					
180 d 200																					
200 d 225	22	30	47	2	5	13	22	11	8	0	9	17	25	22	14	5	0	44	41	33	50
225 d 250																					
250 d 280	25	36	55	3	5	16	25	13	9	0	9	20	27	25	14	5	0	49	47	36	56
280 d 315																					
315 d 335	29	39	60	3	7	17	28	14	10	0	11	21	30	26	16	5	0	55	51	41	62
335 d 400																					
400 d 450	33	43	66	2	8	18	29	16	10	0	11	23	33	27	17	6	0	61	55	45	68
450 d 500																					

Tabla III. Diferencias fundamentales para agujeros (en micras).

Posición	R				S				T				U			
Calidad	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
Diámetro	Diferencia superior Ds															
d 3	10	10	10	10	14	14	14	14					18	18	18	18
3 d 6	14	12	11	15	18	16	15	19					22	20	19	23
6 d 10	17	16	13	19	21	20	17	23					26	25	22	28
10 d 14	20	20	16	23	25	25	21	28					30	30	26	33
14 d 18																
18 d 24	25	24	20	28	32	31	27	35					38	37	33	41
24 d 30									38	37	33	41	45	44	40	48
30 d 40	30	29	25	34	39	38	34	43	44	43	39	48	56	55	51	60
40 d 50									50	49	45	54	66	65	61	70
50 d 65	36	35	30	41	48	47	42	53	61	60	55	66	82	81	76	87
65 d 80	38	37	32	43	54	53	48	59	70	69	64	75	97	96	91	102
80 d 100	46	44	38	51	66	64	58	71	86	84	78	91	119	117	111	124
100 d 120	49	47	41	4	74	72	66	79	99	97	91	104	139	137	131	144
120 d 140	57	56	48	63	86	85	77	92	116	115	107	122	164	163	155	170
140 d 160	59	58	50	65	94	93	85	100	128	127	119	134	184	183	175	190
160 d 180	62	61	53	68	02	101	93	108	140	139	131	146	204	203	195	210
180 d 200	71	68	60	77	116	113	105	122	160	157	149	166	230	227	219	236
200 d 225	74	71	63	80	124	121	113	130	174	171	163	180	252	249	241	258
225 d 250	78	75	67	84	134	131	123	140	190	187	179	196	278	275	267	284
250 d 280	87	85	74	94	151	149	138	158	211	209	198	218	308	306	295	315
280 d 315	91	89	78	98	163	161	150	170	233	231	220	240	343	341	330	350
315 d 355	101	97	87	108	183	179	169	190	261	257	247	268	383	379	369	390
355 d 400	107	103	93	114	201	197	187	208	287	283	273	294	428	424	414	435
400 d 450	119	113	103	126	225	219	209	232	323	317	307	330	483	477	467	490
450 d 500	125	119	109	132	245	239	229	252	353	347	337	360	533	527	517	540

Posición	V				X				Y			Z			A	B	C	
	5	6	7	8	5	6	7	8	6	7	8	6	7	8	7	8	8	8
Diámetro	Diferencia superior D _s																	
d 3					20	20	20	20				26	26	26	32	32	40	60
3 d 6					27	25	24	28				32	31	35	38	42	50	80
6 d 10					32	31	28	34				39	36	42	46	52	67	97
10 d 14					37	37	33	40				47	43	50	57	64	90	130
14 d 18	36	36	32	39	42	42	38	45				57	53	60	70	77	108	150
18 d 24	44	43	39	47	51	50	46	54	59	55	63	69	65	73	90	98	136	188
24 d 30	52	51	47	55	61	60	56	64	71	67	75	84	80	88	110	118	160	218
30 d 40	64	63	59	68	76	75	71	80	89	85	94	107	103	112	139	148	200	274
40 d 50	77	76	72	81	93	92	88	97	109	105	114	131	127	136	171	180	242	325
50 d 65	97	96	91	102	117	116	111	122	138	133	144	166	161	172	215	226	300	405
65 d 80	115	114	109	120	141	140	135	146	168	163	174	204	199	210	263	274	360	480
80 d 100	141	139	133	146	173	171	165	178	207	201	214	251	245	258	322	335	445	585
100 d 120	167	165	159	172	205	203	197	210	247	241	254	303	297	310	387	400	525	690
120 d 140	196	195	187	202	242	241	233	248	293	285	300	358	350	365	455	470	620	800
140 d 160	222	221	213	228	274	273	265	280	333	325	340	408	400	415	520	535	700	900
160 d 180	246	245	237	252	304	303	295	310	373	365	380	458	450	465	585	600	780	1000
180 d 200	278	275	267	284	344	341	333	350	416	408	425	511	503	520	653	670	880	1150
200 d 225	304	301	293	310	379	376	368	385	461	453	470	566	558	575	723	740	960	1250
225 d 250	334	331	323	340	419	416	408	425	511	503	520	631	623	640	803	820	1050	1350
250 d 280	378	376	365	385	468	466	455	475	571	560	580	701	690	710	900	920	1200	1550
280 d 315	418	416	405	425	518	516	505	525	641	630	650	781	770	790	980	1000	1300	1700
315 d 355	468	464	454	475	583	579	569	590	719	709	730	889	879	900	1129	1150	1500	1900
355 d 400	523	519	509	530	653	649	639	660	809	799	820	989	979	1000	1279	1300	1650	2100
400 d 450	588	582	572	595	733	727	717	740	907	897	920	1087	1077	1100	1427	1450	1850	2400
450 d 500	653	647	637	660	813	807	797	820	987	977	1000	1237	1227	1250	1577	1600	2100	2600

Tabla III (continuación). Diferencias fundamentales para agujeros (en micras).