

1 METROLOGÍA

La metrología está conformada por una serie de operaciones de mediciones destinadas a obtener las dimensiones y realizar el trazado para la elaboración de piezas o elementos empleando el trabajo manual o mecánico y efectuar la verificación y control de sus medidas según exigencias del proyecto.

Para ello se utiliza una serie de instrumentos o herramientas de medición y una metodología adecuada a las necesidades.

Medición: consiste en obtener la cantidad de veces que una cierta magnitud unidad se encuentra contenida entre límites fijados. Estos límites no siempre son visibles o perfectamente determinados, como ser en el caso de medición de diámetros, profundidades, espesores, etc. en los cuales se deben tomar distancia entre dos planos paralelos o entre superficies cilíndricas o esféricas.

Exactitud de las medidas obtenidas: las medidas obtenidas nunca son exactas, es decir, no se obtienen los valores reales, ya que la medida obtenida dependerá de la apreciación del instrumento o herramienta empleada (menor división del instrumento: m, dm, cm, mm, μ , etc.), de su precisión (desgaste, divisiones inexactas o irregulares), de las condiciones ambientales (influencia de la temperatura, etc.) y de la habilidad del operador que la efectúa (error de paralaje).

La menor división del instrumento empleado dará el grado de apreciación de la medición efectuada cuando se mide directamente. Por ejemplo, con una cinta graduada con divisiones de 1 milímetro se obtendrán lecturas directas milimétricas.

La precisión de la medida obtenida dependerá tanto de la calidad del instrumento, de la menor división del mismo, como de la habilidad del operador. Este último podrá apreciar a “ojo” si el tamaño de la menor división lo permitiera, cual es la medida más aproximada a la real. Por ejemplo, en el caso de que la menor división fuera el milímetro, podrá apreciar con las décimas de milímetros (Fig.1.1).

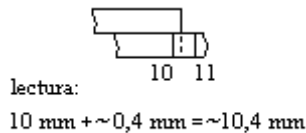


Fig.1.1

Error de medición (e): cuando se mide se introducen errores en la medición, siendo este error (e) igual a la diferencia entre el verdadero valor (m) y la medida realizada (m_i):

$$e = m - m_i \quad (1.1)$$

Existen dos tipos de errores, *errores sistemáticos* y *errores accidentales*. Los errores sistemáticos son causados por defecto del instrumento, del método empleado o por fallas del observador. Son difíciles de detectar, y por más mediciones que se hagan siempre estarán todas ellas afectadas del mismo error. Son difíciles de eliminar. Los errores accidentales son producidos por causas fortuitas y accidentales. Varían al azar, pudiendo producirse en un sentido o en otro (en más o en menos) y no tienen siempre el mismo valor absoluto. Son muy frecuentes y se presentan por ejemplo debido a la coincidencia entre índice y escala, a descuidos por parte del observador, etc. Por producirse al azar es posible disminuirlos, según la teoría de errores de Gauss, mediante la aplicación de la teoría de las probabilidades. Para ello se hacen n mediciones, $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ resultando el valor más probable:

$$\bar{m} = \frac{\sum m_i}{n} \quad (1.2)$$

siendo: $x_i = \bar{m} - m_i \quad (1.3)$

donde es x_i el error cometido de la medición efectuada respecto del valor más probable, que es igual en ambas direcciones, es decir $+x_i$ o $-x_i$. Por lo tanto, por ser los errores cometidos en

ambas direcciones de igual valor absoluto pero de signos diferentes, se anularan mutuamente, resultando:

$$\sum_{x=1}^n x_i = 0 \quad (1.4)$$

Para evitar esta situación se toma la sumatoria de los cuadrados de los x_i , se los divide por el número de mediciones n y se le extrae la raíz cuadrada, obteniéndose el error medio cuadrático:

$$\Delta m_c = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} \quad (1.5)$$

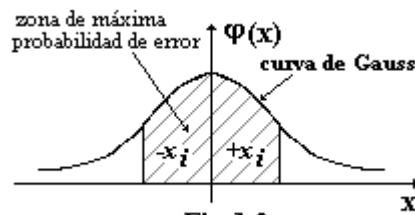


Fig.1.2

Gauss da una función $\varphi(x)$ llamada *función error de Gauss* que da la probabilidad de obtener un cierto error x_i dentro de un cierto intervalo cuando se hace un número grande de medidas independientes; la gráfica de esta función (Fig.1.2), es la llamada *campana de Gauss*.

La probabilidad de cometer errores pequeños es grande en tanto que la de cometer errores grandes es pequeña.

Si la verdadera medida es m , el error verdadero de la media estará dado por la expresión:

$$\Delta m = m - \bar{m} \quad (1.6)$$

El cual, en función del error medio cuadrático se puede demostrar que es:

$$\Delta m = \sqrt{\frac{\Delta m_c^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n(n-1)}} \quad (1.7)$$

Por lo tanto, para obtener la magnitud m , luego de efectuar n mediciones, de la (1.6) se obtiene, teniendo en cuenta el doble signo de la raíz cuadrada:

$$m = \bar{m} \pm \Delta m \quad (1.8)$$

O sea:

$$\bar{m} - \Delta m \leq m \leq \bar{m} + \Delta m \quad (1.9)$$

Es decir que el valor verdadero de la medición estará comprendido entre ambos extremos del intervalo, siendo este último menor, cuanto más mediciones se realicen. Para aplicar la teoría de Gauss es necesario que sea $\sum x_i = 0$, lo que se cumple en la práctica cuando es $\sum x_i < < \sum |x_i|$.

Unidades: las unidades empleadas son las adoptadas actualmente por el S.I. en todo el mundo y en la Argentina por el SIMELA. La unidad de longitud es el metro (m); en mecánica se emplea el milímetro (mm) a fin de abarcar pequeñas y grandes medidas, utilizándose una única unidad. Los submúltiplos del milímetro son: décimas de milímetro (0,1mm), centésimas de milímetro (0,01mm) y milésimas de milímetro (0,001mm). Aún se utiliza por su gran difusión, la pulgada

como unidad de medida (1"), siendo: 1"= 25,4mm. Los submúltiplos de la pulgada se toman como fracciones de la misma: 1/2", 1/4", 1/8", 1/16", 1/32", 1/64", etc. También se usa un sistema mixto dividiendo la pulgada en decimos, centésimos, milésimos y diezmilésimos de pulgada: 2".215 (dos pulgadas doscientos quince milésimas); .32" (treinta y dos centésimas de pulgada).

Cuando se necesita máxima precisión y exactitud se utiliza el *micrón* (μ) como unidad, siendo el *micrón* la millonésima parte del metro: $1\mu = 10^{-6}\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$.

Para las medidas angulares se utiliza el *grado sexagesimal* y como submúltiplos de éste el *minuto* (') y el *segundo* ("). Otra unidad empleada en medidas angulares es el *radián* atendiendo a que el ángulo central del círculo en un giro completo mide 2π radianes.

Influencia de la temperatura en la medición: debido a la dilatación que sufren los metales con la temperatura, cuando se necesita obtener medidas de gran precisión, hay que tener en cuenta la variación que sufren tanto los elementos a medir como los propios instrumentos de medición. Por tal motivo se corrigen los valores obtenidos a una temperatura base, utilizándose la conocida fórmula:

$$l = l_0 \pm l_0 \delta \Delta t = l_0 (1 \pm \delta \Delta t) \quad (1.10)$$

En la (1.10) se utiliza el signo más (+) para las temperaturas mayores a la tomada como base y el signo menos (-) para las menores a ella. En la fórmula anterior es l_0 la medida registrada a la temperatura base, l es la medida obtenida a la temperatura ambiente y Δt la diferencia entre la temperatura ambiente y la de base, siendo δ el coeficiente de dilatación del material ($1/^\circ\text{C}$).

En nuestro país se toma 20°C como temperatura base, en Francia 0°C , en Estados Unidos de Norteamérica 62°F ($16,67^\circ\text{C}$). La influencia de la temperatura es importante cuando se mide con precisiones del centésimo de milímetro.

Si el coeficiente de dilatación del acero es $\delta = 0,000011 \frac{1}{^\circ\text{C}}$, y si la medición a 20°C de una varilla de este metal es de 1.000 mm y la temperatura ambiente es de 35°C , la longitud real a esta última temperatura será:

$$l = 1000\text{mm} [1 + 0,000011 \frac{1}{^\circ\text{C}} (35-20)] = 1000,165\text{mm}$$

y afecta a la medida a 20°C en 165 milésimas de milímetro.

Elementos de medición: son instrumentos, aparatos o herramientas que se utilizan para conocer las medidas de las piezas. La medición se puede efectuar en dos formas: 1) por lectura directa y 2) por comparación.

1) **Por lectura directa**: se obtiene mediante un instrumento o aparato calibrado la medida de la pieza, leyéndose en la escala el valor de ésta. Algunos de los aparatos más utilizados son las reglas milimetradas, calibres, micrómetros, goniómetros, regla de senos, etc.

2) **Por comparación**: se obtiene comparando la dimensión de una pieza con otra que se toma como patrón. Se utiliza para ello compases, comparadores, sondas, peines para roscas, etc. Se describirán a continuación los aparatos mencionados.

Regla milimetrada: son barras de acero de sección rectangular, por lo general chaflanadas en una de sus caras sobre la cual se han grabado las divisiones en milímetros y en 0,5 milímetros o también en pulgadas subdivididas en 16, 32 o 64 partes. Son de longitud variable llegando en algunos casos hasta más de 1,5 m de longitud. Permite efectuar mediciones directas con grado de precisión del medio milímetro. También se utilizan para el trazado de rectas, en cuyo caso no están graduadas, o si lo están, ésta es de menor precisión, debiendo cumplir con la condición de ser perfectamente rectas. Se presentan también como metro articulado, cinta métrica y curvómetro.

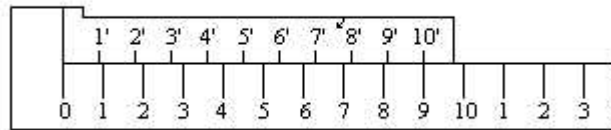


Fig.1.3

Calibre o Pié de Rey: este instrumento utiliza el método ideado por Vernier y Nonius, el cual consiste en utilizar (Fig.1.3) una regla fija, graduada por ejemplo en centímetros y en milímetros, y una regla móvil que puede deslizarse sobre la fija y que está dividida en un número de divisiones, por ejemplo diez (10), iguales, correspondiendo a estas 10 divisiones nueve (9) divisiones de la fija; por lo tanto, la apreciación del instrumento estará dada por la diferencia entre la menor división de la regla fija y la menor división de la regla móvil. Para obtener el orden de este grado de apreciación del instrumento se hacen las siguientes

deducciones: si llamamos “ n ” al número de divisiones iguales en la regla fija y la móvil, “ l ” a la longitud de la menor división de la regla fija y “ l' ” a la longitud de la menor división de la regla móvil, igualando longitudes de la regla fija y móvil, se tendrá:

$$n.l' = (n - 1).l \quad (1.11)$$

Efectuando operaciones matemáticas en la (1.11):

$$n.l' = n.l - l \Rightarrow l = n.l - n.l' = n(l - l')$$

y por último:

$$l - l' = \frac{l}{n} \quad (1.12)$$

O sea que la apreciación de un instrumento que utiliza un “vernier” o “nonio” se obtiene dividiendo la menor división de la regla fija por el número de divisiones del vernier.

La lectura L resulta de sumar la lectura a que precede al cero del nonio sobre la regla fija, la lectura b , división del nonio que coincide con una cualquiera de las divisiones de la regla fija:

$$L = a + \frac{b}{n} \quad (1.13)$$

Por ejemplo si la menor división de la regla fija es 1mm y el nonio o vernier está dividido en 20 divisiones, la apreciación será: $1\text{mm}/20 = 0,05\text{mm}$; si estuviera dividido en 25 divisiones ésta será: $1\text{mm}/25 = 0,04\text{mm}$; si fueran 50 divisiones: $1\text{mm}/50 = 0,02\text{mm}$.

Si las divisiones de la regla fija estuvieran en pulgadas siendo la menor $1/16''$ y el número de divisiones del vernier fuera 8, la apreciación será: $(1/16'')/8 = 1/128''$; Si la pulgada es dividida en diez (10) partes y a su vez a cada una de las partes se la subdivide en 4, tendremos que la pulgada se ha dividido en cuarenta (40) divisiones, correspondiendo cada una a $1/40'' = 0,025''$ (veinticinco milésimas de pulgada).

Ejemplo de medición con calibre: el instrumento consta de dos mandíbulas, una solidaria a la regla fija y la otra solidaria al vernier. Se coloca el elemento a medir entre las mandíbulas (si fuera una medida exterior) presionando suavemente, y se procede a efectuar la lectura (Fig.1.4).

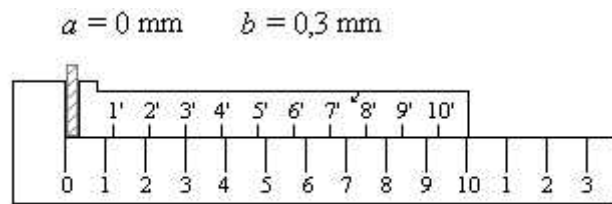


Fig.1.4

$$a = 0 \text{ mm}; \quad \frac{l}{b n} = 3' \times \frac{1 \text{ mm}}{10} = 0,3 \text{ mm} \Rightarrow L = 0 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm} = 0,3 \text{ mm}.$$

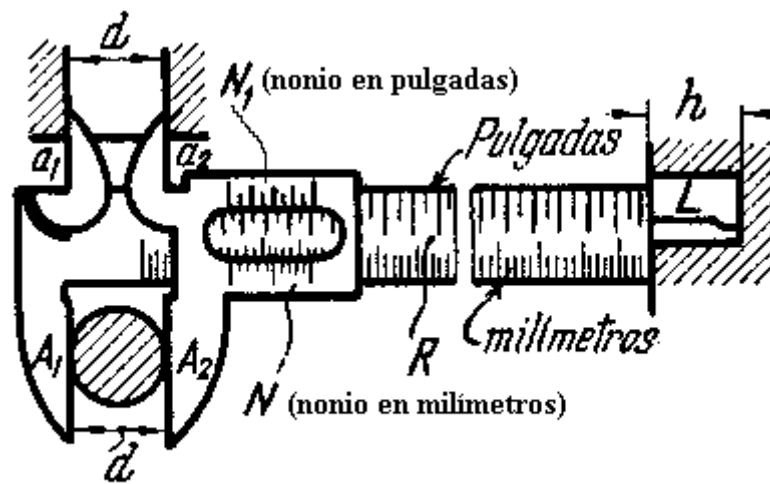


Fig.1.5

Diferentes clases de calibres: existen distintos tipos de calibres que se utilizan para mediciones exteriores, para mediciones interiores y para mediciones de profundidad o altura. Estos tres tipos de calibres generalmente están incluidos en un solo instrumento como el que muestra la figura (Fig.1.5); con las mandíbulas

A_1 y A_2 se obtiene la medida exterior (ejes, caras externas, etc.) y con las puntas a_1 y a_2 se obtiene la medida interior (agujero, caras internas, etc.) de un objeto o pieza, siendo para el caso de la figura esta medida d ; con la punta L se obtiene la medida de profundidad, altura, etc., la cual, según indica el calibre, es h . Las tres medidas indicadas por el instrumento son iguales, ya que la mandíbula A_2 , la punta a_2 y el vástago están unidos a la regla móvil que se desplaza y es la que indica el valor de la medida para los tres casos. Se puede observar además que las unidades en las cuales se puede leer la medida son milímetros y pulgadas, según se utilice la escala inferior o superior de la regla fija y de la móvil o nonio, respectivamente.

La figura (Fig.1.6) muestra distintas mediciones que se pueden realizar con el calibre. En (a) se efectúa la medición externa del espesor e de una pieza mediante las mandíbulas A_1 y A_2 ; en (b) se tiene la medición interior d de un agujero; en (c) con el vástago o cola del calibre se mide una profundidad h y en (d) se mide la distancia a entre los bordes de dos agujeros.

Actualmente existen calibres donde la lectura se lee directamente en una pantalla que trae incorporado el aparato y que muestra la medida que se realiza.

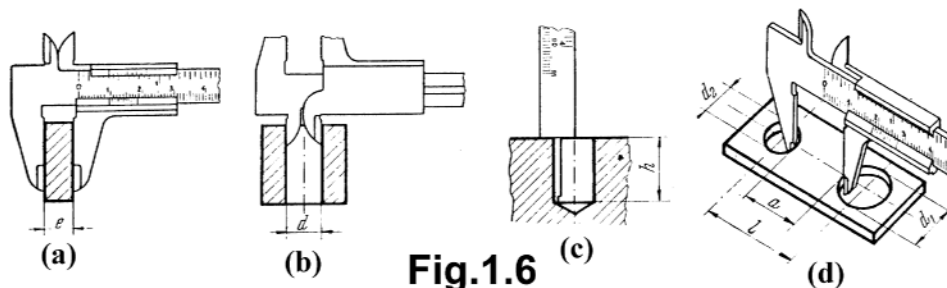


Fig.1.6

Tornillo micrométrico: es un tornillo que se desplaza axialmente longitudes pequeñas al girar el mismo dentro de una tuerca. Dichos desplazamientos pueden ser de $\frac{1}{2}$ mm y de 1mm para giros completos en los milimétricos y por lo general de $0,025''$ en los de pulgadas. Se aplican en instrumentos de mediciones de gran precisión como son los micrómetros o pálmer, que se utilizan para medir longitudes y los esferómetros que se utilizan para medir radios de curvaturas y espesores.

Micrómetro o pálmer: es un instrumento que consta, según se muestra en la figura (Fig.1.7), de un montante o cuerpo en forma de U o herradura, presentando en uno de sus extremos una pieza cilíndrica roscada interiormente, siendo el paso de esta rosca de $\frac{1}{2}$ mm o de 1mm. Esta pieza presenta además en su superficie externa una graduación longitudinal sobre una de sus generatrices de $\frac{1}{2}$ en $\frac{1}{2}$ milímetro. Dentro de esta pieza enrosca un tornillo, que al girar una vuelta completa, introduce uno de sus extremos dentro del espacio vacío de la herradura, avanzando por vuelta $\frac{1}{2}$ mm o 1mm de acuerdo al paso que posee. Solidario al tornillo por el otro extremo se encuentra un tambor que por cada giro cubre a la pieza cilíndrica graduada una longitud igual al paso. El extremo del tambor indica en su avance la longitud que se introduce el tornillo dentro de la herradura. Esta última tiene en su extremo opuesto un tope fijo, regulable, que cuando hace contacto con la punta del tornillo indica longitud cero. El tambor tiene 50 o 100 divisiones según su paso sea de $\frac{1}{2}$ mm o de 1 mm respectivamente sobre su perímetro circunferencial en el extremo que avanza sobre el cilindro graduado. Por tal motivo, cada división corresponderá a 0,01mm de avance o retroceso, lo que da la apreciación del instrumento, según la (1.12):

Para un paso de $\frac{1}{2}$ mm y 50 divisiones en el tambor:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ vuelta} \text{-----} 0,5\text{mm} \\ \frac{1}{50} \text{ vuelta} \text{-----} x_1 \Rightarrow x_1 = \frac{0,5\text{mm}}{50} = \frac{1\text{mm}}{100} = 0,01\text{mm} \end{array}$$

Para un paso de 1mm y 100 divisiones en el tambor:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ vuelta} \text{-----} 1\text{mm} \\ \frac{1}{100} \text{ vuelta} \text{-----} x_2 \Rightarrow x_2 = \frac{1\text{mm}}{100} = 0,01\text{mm} \end{array}$$

Este tambor es el nonio o vernier del instrumento. Para apreciaciones de 0,001mm, cuenta con otro vernier sobre el cilindro, que consiste en 10 (diez) divisiones según generatrices de éste, y que abarcan una longitud de 0,09mm, es decir que la apreciación será de $0,01\text{mm}/10 = 0,001\text{mm}$. Para los micrómetros de sistema inglés el cilindro se halla graduado en pulgada, la cual se divide en 40 (cuarenta) partes generalmente correspondiendo cada una a $0,025''$. Cada 4 (cuatro) divisiones se numera a partir de cero la graduación longitudinal, correspondiendo cada numeración a $0,1''$. El tambor tiene 25 divisiones, siendo la apreciación $0,025''/25 = 0,001''$. También presenta un vernier sobre el cilindro que le da una apreciación de $0,001''/10 = 0,0001''$.

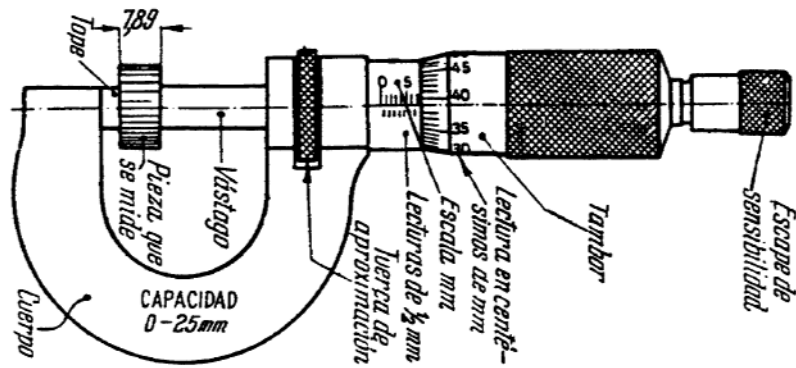


Fig.1.7

Ejemplo de medición: se coloca la pieza a medir dentro del espacio de la herradura, apoyada sobre el tope fijo y se arrima la punta del tornillo mediante el manguito moleteado hasta hacer tope con la pieza, se ajusta con el embrague a fin de obtener la presión correcta y se lee de la siguiente manera:

- 1°- Sobre el cilindro graduado con exactitud de hasta $\frac{1}{2}$ milímetro.
- 2°- En el nonio del tambor con exactitud de hasta centésima de milímetro.

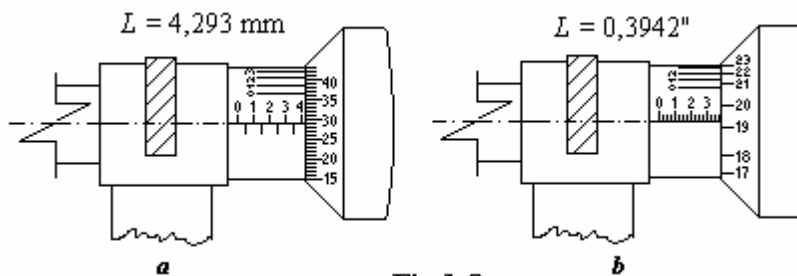


Fig.1.8

- 3°- Sobre el vernier en el cilindro con exactitud de hasta el milésimo de milímetro.

Ejemplo: en la figura (Fig.1.8) se observan los cilindros y tambores de dos micrómetros, estando el *a* en milímetros y el *b* en pulgadas, leyéndose en el *a*: 1°- en el cilindro graduado 4mm; 2°- en el nonio del tambor $29 \times 0,01\text{mm} = 0,29\text{mm}$; 3°- en el vernier del cilindro $3 \times 0,01\text{mm}/10 = 0,003\text{mm}$; por lo tanto la medida resulta de sumar las tres lecturas: $L = 4\text{mm} + 0,29\text{mm} + 0,003\text{mm} = 4,293\text{mm}$. En el *b*: 1°- $15 \times 0,025'' = 0,375''$; 2°- $19 \times (0,025''/25) = 0,019''$; 3°- $2 \times (0,001''/10) = 0,0002''$; la medida resulta por lo tanto $L = 0,375'' + 0,019'' + 0,0002'' = 0,3942''$.

Los micrómetros poseen además una tuerca de bloqueo o de fijación (moleteada) que inmoviliza el tornillo micrométrico en la posición de la medición efectuada, pudiendo de esta forma retirarlo para efectuar la lectura. También de esta forma se puede utilizarlo como calibre comparador fijo.

Los micrómetros vienen de distintos tamaños, según sea la capacidad máxima requerida, comenzando desde 0 a 25 milímetros y luego continuando de 25 mm en 25 mm hasta llegar a tamaños con capacidad de hasta 675 mm y aún más, en el sistema métrico. En el sistema inglés vienen de pulgada en pulgada.

Los micrómetros mayores de 25mm o 1'' se suministran generalmente con topes intercambiables de longitudes que varían en 25mm a fin de poder utilizarlos para efectuar mediciones de elementos de menores dimensiones. Además tienen juegos de varillas calibradas de longitudes que también varían en 25mm unas de otras que se utilizan para colocar en cero el instrumento. Es decir, son varillas patrones.

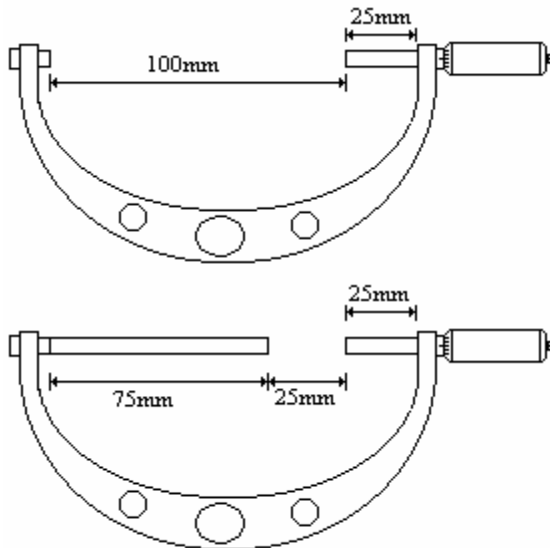


Fig.1.9

Por ejemplo, si se desea efectuar la medición de una pieza que tiene más de 25mm y menos de 50mm y se cuenta con un calibre para medición máxima de 125mm (Fig.1.9), que tiene juego de topes intercambiables de 25mm y 75mm y cuatro varillas calibradas de 50mm, 75mm, 100mm y 125mm se procede de la siguiente manera: se coloca el tope de 75mm, se mide la varilla calibrada para 50mm sumándose al tope, resultando la longitud total de 125mm, con lo cual se pone en cero el instrumento; se quita ésta última y se coloca la pieza a medir, haciendo contacto con el micrómetro en los topes fijo y móvil se procede a efectuar la medición. Si ésta fuera de 30mm, se leerá en el limbo del nonio el valor 5mm y como la abertura mínima entre el tope móvil y el fijo es de 25mm el valor se

obtiene sumando a estos 25mm el valor leído en el nonio, resultando la medida de $L = 25\text{mm} + 5\text{mm} = 30\text{mm}$.

Los topes fijos como móviles pueden presentar distintas formas e inclusive aditamentos para medir diámetros de alambres, elementos planos de material blando, rosca de tornillos, superficies cóncavas y convexas, etc. Por ejemplo, para medir espesores de cartón, papel, chapas, etc., poseen topes con palpadores de mayor diámetro de aproximadamente de 15mm. Los micrómetros para roscas tienen palpadores en forma de V (con ángulos de 55° y 60°) para los tipos Whitworth y Métricas. Además existe el sistema de palpadores con tres alambres, (Fig.1.10 y Fig.1.11) que utiliza un sistema de constantes para obtener las medidas de las roscas, estando las constantes a usar determinadas para cada aparato: roscas métricas (Internacional).

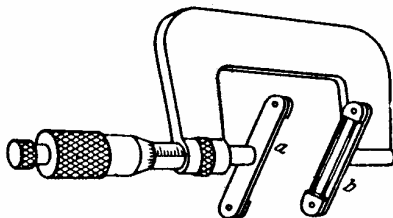


Fig. 1.10

Diámetro medio = $L - 1,5d$; roscas Whitworth Diámetro medio = $L - 1,45d$ siendo L la lectura del aparato y d el diámetro del alambre. Para medición de superficies cóncavas y convexas se utilizan topes con forma esférica y/o plana, según el caso, para mayor exactitud. Existen micrómetros que tienen agregado un mecanismo contador en el nonio que indica en un cuadrante el valor de la medición con mayor precisión.

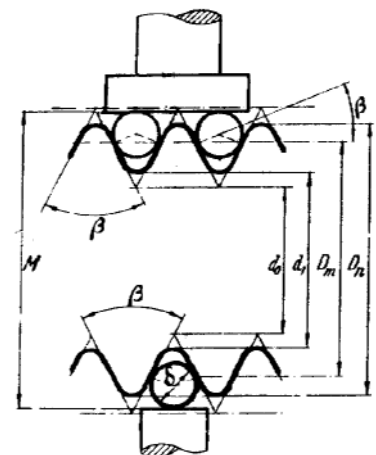


Fig.1.11

Distintos tipos de micrómetros:

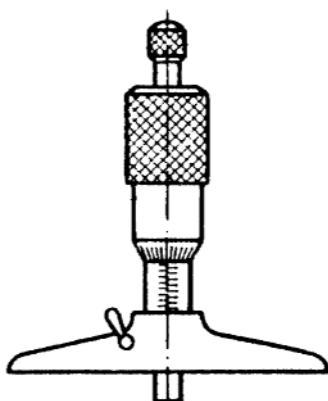


Fig. 1.12

Micrómetro de profundidad: (Fig.1.12) consta de un manguito graduado en forma inversa al micrómetro común, ya que a medida que se introduce el tope móvil el nonio marca mayor profundidad. Tiene un apoyo en forma de T y además posee varillas calibradas que se pueden cambiar para medir mayores profundidades que la permitida por el nonio.

Micrómetro para interiores: (Fig.1.13) consta de un manguito al cual se le pueden agregar varillas calibradas para medir distintas medidas interiores. El tornillo micrométrico tiene una longitud de 25mm pudiendo llegar con las varillas calibradas hasta 800mm y aún más. En pulgadas inglesas varía desde 1" hasta 32". Para efectuar la medición se hace oscilar la punta de la varilla calibrada, manteniendo el tope del otro extremo del tambor en contacto con uno de los puntos límites de la medición, hacia ambos costados (hasta lograr la mayor medida) y hacia abajo y arriba (hasta lograr la menor medida) a fin de estar en el diámetro de la pieza.

Calibre con nonio micrométrico: se consigue mayor exactitud al adaptar a un micrómetro para interiores dos mandíbulas que permiten efectuar mediciones exteriores e interiores, fabricándose aparatos de estas características. Se debe tener cuidado de agregar a la medida interior realizada el espesor de las puntas. Las puntas tienen un espesor de 5mm cada una, o sea 10mm entre ambas, cantidad que debe agregarse, al medir interiores, a la lectura realizada sobre el tornillo y el nonio (Fig.1.14).

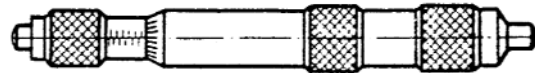


Fig. 1.13

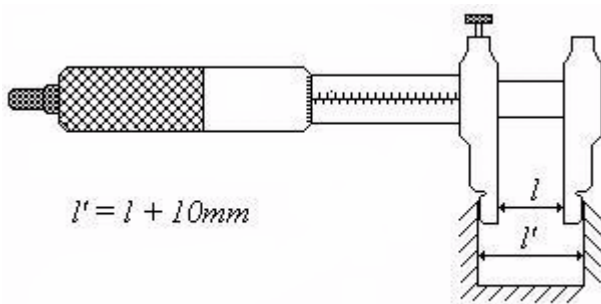


Fig.1.14

Existen equipos especiales para medidas de alta precisión como los bancos micrométricos que utilizan dispositivos especiales y microscopios que permiten efectuar medidas con precisiones de 0,001mm.

Esferómetro

Utiliza un tornillo micrométrico y se emplea para medir espesores de láminas y chapas y principalmente para medir radios esféricos. Este aparato fue creado por el Óptico Cauchoix para medir la curvatura que debían tener las lentes. Consta (Fig.1.15) de un trípode, cuyas patas se encuentran a la misma distancia unas de otras formando entre sí los vértices un triángulo equilátero y en cuyo centro se halla un orificio roscado de paso 1mm en el cual se introduce un tornillo el cual tiene solidario un disco metálico con 100 divisiones. En el trípode se encuentra montada fija una regla milimetrada en forma vertical que hace contacto tangencial con el disco, con cero en el centro de una escala doble.

Cuando las tres patas fijas y la móvil (central del tornillo) se hallan en el mismo plano, el cero de la regla y del disco coinciden. Cuando el tornillo da una vuelta completa, el disco se desplaza una división de 1mm de la regla, siendo la apreciación del aparato de:

$$A = \frac{\text{menor división de la regla}}{\text{número de divisiones del disco}} = \frac{1\text{mm}}{100} = 0,01\text{mm}$$

Ejemplos de utilización:

1) **Medición del espesor de una pieza:** se verifica el cero del aparato colocando el esferómetro sobre una superficie perfectamente plana (mármol) hasta que las puntas estén en el mismo plano, coincidiendo por lo tanto los ceros de la

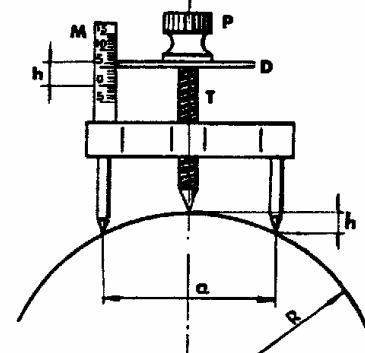
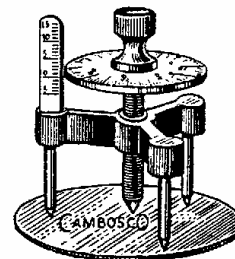


Fig.1.15

regla y del disco. Se desenrosca el tornillo, se coloca la pieza cuyo espesor se desea medir sobre el mármol debajo del tornillo y se vuelve a enroscar éste hasta que la punta haga contacto con la pieza. Una vez logrado ello se leen los milímetros en la regla y, en el disco, la división que coincide con la regla, da los centésimos de milímetros.

2) Medición del radio de una esfera: Se conoce la distancia "a" entre las patas del trípode que es iguales entre las tres y la distancia *d* de éstas al tornillo central. Primeramente se coloca en cero el instrumento igual que para medir espesores, corrigiendo según haya diferencia en más o en menos. Se apoya el esferómetro sobre la esfera cuidando que hagan contacto las tres patas del trípode, desenroscando previamente el tornillo (Fig.1.16), hasta que permita apoyar el trípode, procediendo luego a enroscarlo hasta que haga contacto con la esfera. Se lee en la regla y disco la medida *h* y se aplica la fórmula:

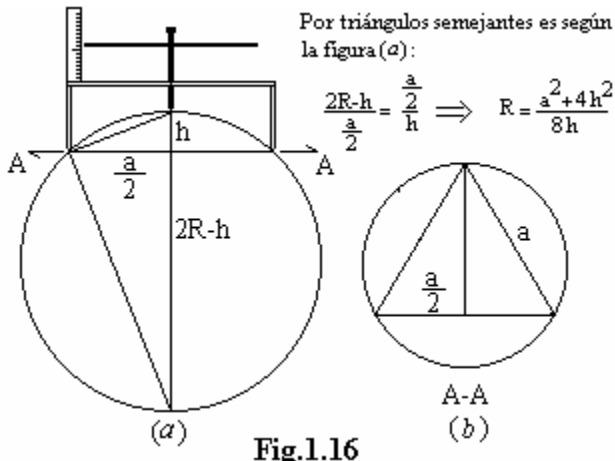


Fig.1.16

$$R = \frac{a^2 + 4h^2}{8h} \quad (1.14)$$

o también, aplicando la propiedad distributiva se tendrá:

$$R = \frac{a^2}{8h} + \frac{h}{2} \quad (1.15)$$

Existen esferómetros de mayor precisión con paso del tornillo de 1/2mm y disco graduado dividido en 500 partes, siendo para este aparato la apreciación de:

$$A = \frac{\text{menor división de la regla}}{\text{número de divisiones del disco}} = \frac{0,5}{500} = 0,001mm$$

Falsas escuadras

Las medidas angulares se efectúan utilizando falsas escuadras (universal) formadas por barras de acero inoxidable con formas que las hacen adecuadas para colocarlas en posición conveniente y así poder medir o controlar ángulos y además para transportar medidas a una pieza cualquiera.

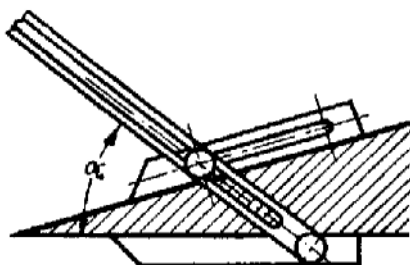


Fig.1.17

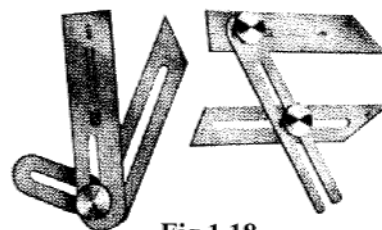


Fig.1.18

Existen distintos tipos, siendo algunos los indicados en

las figuras (Fig.1.17) y (Fig.1.18).

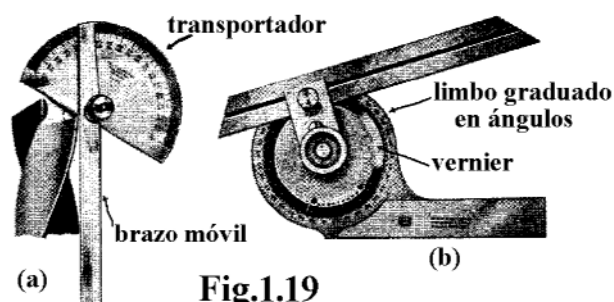


Fig.1.19

Goniómetros

Funcionan como una falsa escuadra pero poseen un "transportador" en el

cual se puede leer directamente el ángulo. Uno de los más sencillos está constituido por un semicírculo graduado (transportador) y un brazo móvil que tiene un índice señalador de ángulo (Fig.1.19a). El brazo móvil puede girar teniendo como eje el centro del semicírculo. Están construidos de acero inoxidable. El goniómetro universal está formado por dos reglas (Fig.1.19b), una de ellas provista de un limbo graduado y la otra de un vernier circular y de un anillo dentro del cual puede girar el limbo o disco graduado de la primera regla. Poseen un tornillo de fijación que permite inmovilizar las reglas en una posición determinada. Están construidas en acero inoxidable, teniendo la regla que posee el vernier una longitud de 200mm a 300mm generalmente. El limbo está graduado en ambas direcciones y pueden medirse ángulos según convenga a la derecha o izquierda. El limbo está graduado en 360° con lecturas de 0° a 90°, 90° a 0°, 0° a 90° y de 90° a 0°. El vernier tiene 12 divisiones que abarcan 23 grados del limbo, siendo por lo tanto la apreciación:

$$A = \frac{\text{menor división del limbo}}{\text{número de divisiones del vernier}} = \frac{1^\circ}{12} = \frac{60'}{12} = 5'$$

Por lo que cada división del vernier representa 5 minutos. El vernier presenta generalmente 12 divisiones a la izquierda y 12 divisiones a la derecha.

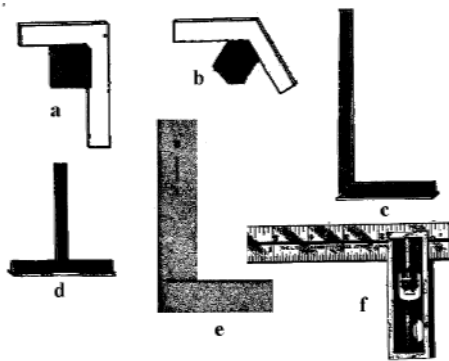


Fig.1.20

(Fig.1.20-d); escuadra "L": es una escuadra a 90° (Fig.1.20- e); escuadra "L" con regla corrediza: también es una escuadra a 90° que permite desplazarse uno de los lados que forman el ángulo (Fig.1.20-f).

Escuadras

Son elementos de trazado y comprobación de ángulos; existen distintos tipos según su aplicación: escuadra de 90°: se utiliza para comprobar piezas de formas paralelepípedas (Fig.1.20a); escuadra a 120°: sirve para controlar piezas hexagonales Fig.1.20b); escuadra sombrero: es una escuadra a 90° con una regla del mismo espesor en forma perpendicular a la rama corta (Fig.1.20c); escuadra en "T": es una escuadra con dos ángulos de 90° a cada lado de una de las reglas

Transportador Universal

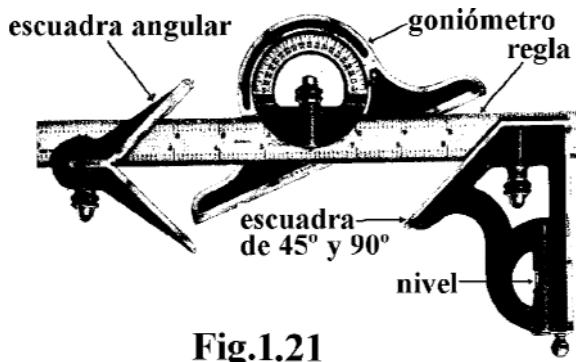


Fig.1.21

Es un instrumento (Fig.1.21) compuesto, de gran precisión y adaptabilidad, que sirve para marcar, transportar y obtener ángulos, centros de piezas cilíndricas y alturas o profundidades. Consta de una regla milimetrada en la cual puede insertarse un disco con un limbo graduado en grados que tiene incorporado un vernier, formando un goniómetro que permite en conjunto con la regla efectuar las mediciones de ángulos; posee además una escuadra angular que con la regla permite la obtención de los

centros de piezas cilíndricas; por último, cuenta con otra escuadra angular que con la regla permite obtener ángulos de 45° y 90°. Ésta última y el círculo cuentan con niveles para la nivelación del instrumento al efectuar las mediciones. Recibe también el nombre de "Starret".

Regla de senos

A fin de facilitar la medición de ángulos, lo que se hace dificultoso en la técnica en algunos casos realizarlos con transportador o goniómetro, se utiliza la regla o barra de senos que permite

medir un ángulo cualquiera utilizando resoluciones trigonométricas con error menor a 5 minutos. Se utiliza este instrumento para la construcción de útiles, herramientas, en trazados, para efectuar ajustes, comprobaciones y otras operaciones que requieran gran exactitud en la medición u obtención de piezas angulares. La regla de senos (Fig.22.1-a), está constituida por una barra de acero (F) de alta resistencia al desgaste, cuidadosamente rectificada, de gran robustez, con agujeros (o) en su cuerpo para hacerla más liviana. Sus dos extremos están rebajados y en cada uno de ellos se encuentra dispuesto, haciendo contacto con las superficies de los rebajes de la barra, un cilindro (d) de acero especial templado, cementado y rectificado. Por lo tanto la regla posee

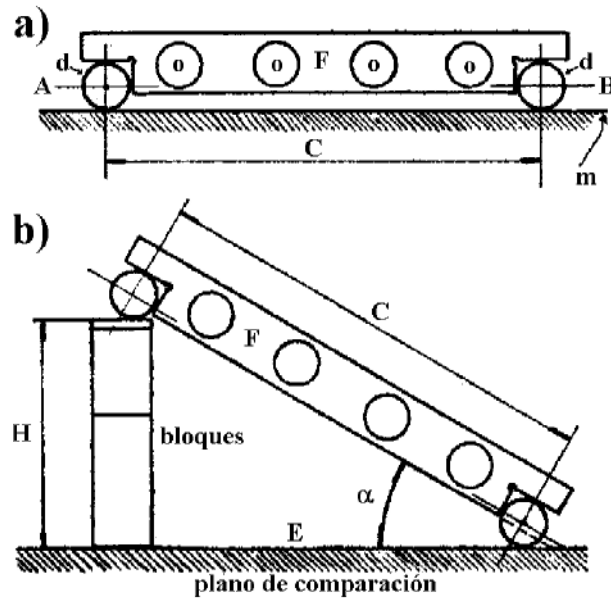


Fig.1.22

dos de estos cilindros los cuales tienen igual diámetro y longitud y hacen contacto con las superficies de rebajes por dos de sus generatrices a 90°, estando atornillados. Los centros de los cilindros se encuentran sobre una línea (A-B) exactamente paralela al eje de la barra y a sus superficies superior e inferior. La regla apoya sobre una mesa (m) de máquina herramienta o mármol de ajuste, por medio de la parte inferior de los cilindros siendo la precisión del paralelismo de las superficies de la regla y de la base de apoyo de $\pm 0,001\text{mm}$. La excentricidad de los cilindros no debe exceder de $0,00075\text{mm}$ por cada $25,4\text{mm}$ de diámetro (en pulgadas: $0,00003''$ por cada pulgada de diámetro). Para efectuar la medición, la regla viene provista de un sistema de bloques calibrados patrones, denominados blocs, galgas, calzas o escantillones, que se encuentran contruidos de material especial de óptima calidad (INVAR), templado, perfectamente rectificadas, rasqueteadas y lapidadas sus superficies, con dos caras opuestas paralelas y planas, siendo su precisión de fabricación función de sus dimensiones, que van desde $1/10000\text{mm}$ para los de 10mm hasta $1/1000\text{mm}$ para una galga de 100mm . Es tal el grado de perfección y calidad de estas galgas que presentan las características distintivas de adherirse unas a otras cuando se unen por sus caras y no separándose sin un esfuerzo considerable, pudiendo mantenérselas suspendidas como una barra sin que ellas se separen. La medición de un ángulo con la regla de senos se efectúa de la manera siguiente (Fig.1.22-b): se apoya sobre la base (mármol E) uno de los cilindros de la regla y debajo del otro se agregan las galgas de control, hasta una altura H para lograr el ángulo α deseado; teniendo en cuenta que la distancia entre los centros de los cilindros es una constante C, que puede ser de $C = 100\text{mm}$ y $C = 200\text{mm}$ o $C = 5''$ y $C = 10''$, si es H la altura de los bloques y α el ángulo que forman las superficies de la regla con la base, se tendrá:

$$\text{sen } \alpha = \frac{H}{C} \Rightarrow H = C \cdot \text{sen } \alpha \quad (1.16)$$

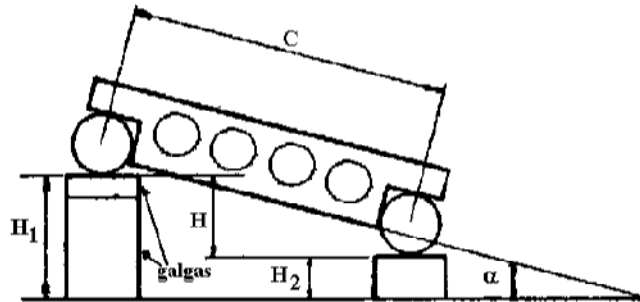


Fig.1.23

siendo C la constante del aparato.

Ejemplo: se desea obtener un ángulo de $26^{\circ}16'$, por lo tanto se debe obtener con las galgas, para $C = 100\text{mm}$:

$$H = C \cdot \text{sen } \alpha = 100\text{mm} \times \text{sen } 26^{\circ}16' = 44,254956\text{mm}$$

Es decir que con las galgas se debe lograr una altura de $44,254956\text{mm}$. Las galgas o escantillones se fabrican desde $0,25\text{mm}$ hasta 100mm , pudiendo estar en centímetros, milímetros, pulgadas o múltiplos y submúltiplos de éstos.

Para ángulos muy pequeños, el valor de H es tan reducido que no se pueden efectuar las combinaciones necesarias. En este caso se pueden colocar los bloques debajo de cada cilindro, lográndose la disposición que se indica en la figura (Fig.1.23):

$$\text{a) } H = H_1 - H_2 \Rightarrow \text{ b) } H = C \cdot \text{sen } \alpha \quad \therefore \text{ c) } \text{sen } \alpha = \frac{H}{C} \quad \text{siendo } \alpha = \text{arcsen } \alpha \quad (1.17)$$

Para lograr ángulos de mucha precisión se utilizan mesas de senos que permiten dar a la pieza la inclinación correcta. Estas mesas pueden ser simples apoyos de la regla de senos (platos) o tratarse de dispositivos especiales como mesas de senos circulares articuladas o mesas inclinables hemisféricas.

Comparadores

Como su nombre lo indica se utilizan para comparar medidas, que deben encontrarse dentro de cierto intervalo y, que ya sea por desgaste u otras causas pudieron haber variado.

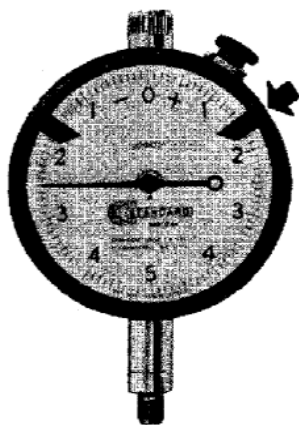


Fig.1.24

Los más comunes son los de reloj o dial (Fig.1.24), que consisten en un aparato de relojería que transforma el movimiento rectilíneo de los contactos o "palpadores" en un movimiento circular, el cual puede observarse en un cuadrante de reloj que se encuentra dividido en varias partes, siendo los más comunes los que se encuentran divididos en 100 partes, correspondiendo cada división a $0,01\text{mm}$.

El comparador se usa para el control de piezas con una mesa y soportes adecuados y con una barra o cremallera que permite el desplazamiento del comparador.

La aguja del reloj puede desplazarse para ambos lados, según la medida sea menor o mayor que la que se considera nominal o correcta. Por este motivo vienen con un signo (+) y uno (-) para indicar para que lado se mueve la aguja. Tienen el disco graduado giratorio, lo que permite, luego de obtenida una medida, colocar en

cero la posición de la aguja, cualquiera sea la posición angular de ésta. Además tienen un contador de revoluciones que indica cuantas vueltas dio la aguja.

Calibres de tolerancia

También existen comparadores fijos llamados calibres de tolerancias o fijos, también denominados diferenciales, para el control de piezas que se fabrican en serie y que deben

guardar una cierta medida dentro de las tolerancias permitidas. Estas piezas son construidas para ensamblar con otras o para reemplazar a las que se hallan gastadas, es decir que deben ser intercambiables en un 100%. Estos calibres son del tipo de "pasa" y "no pasa", es decir que permiten pasar, o que no pasen, piezas que tienen una cierta medida, dentro de las tolerancias permitidas.

Algunos de estos calibres son los que a continuación se detallan:

Calibres para pernos o ejes: el eje debe pasar en una de las mandíbulas y no pasar en la otra (Fig.1.25a).

Calibres para agujeros cilíndricos: el calibre debe poder penetrar con uno de sus pernos calibrados en el agujero, y el otro no debe poder penetrar el mismo (Fig.1.25b).

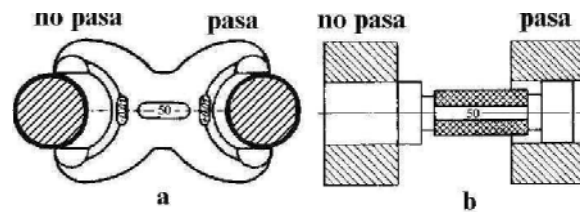


Fig.1.25

Calibres para espesores de superficies planas: para controlar superficies planas de igual forma que en los casos anteriores (Fig.1.26a).

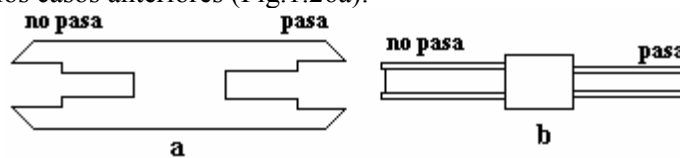


Fig.1.26

Calibres para interiores de superficies planas: controlan el interior o espacio entre dos superficies planas (Fig.1.26b).



Fig.1.27

Calibres para agujeros cónicos y tronco cónicos: controlan interiores o agujeros cónicos (Fig.1.26-a) o tronco cónicos (Fig.1.26b).

Calibres para roscas: son similares a los calibres para ejes y para agujeros cilíndricos, nada más que vienen con roscas pasa y no pasa, para cada tipo de rosca y para roscas interiores (Fig.1.28a) y para roscas exteriores (Fig.1.28b).

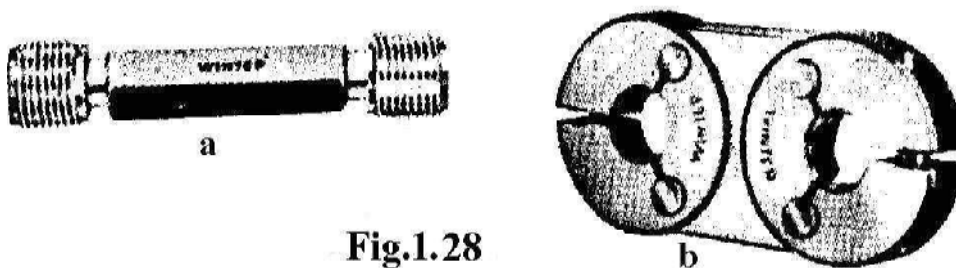


Fig.1.28

Estos calibres son construidos de material indeformable y con resistencia al desgaste, como son los aceros especiales, con sus partes, expuestas al rozamiento con las piezas a medir, cementadas a efectos de evitar su pronto desgaste. Tienen gran rigidez y las zonas de contacto son trabajadas y pulidas con gran precisión.

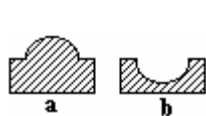


Fig.1.29

Calibres para radios: son calibres para verificar perfiles. Son de acero laminado duro, inoxidable y satinado contra óxidos. Están construidos de diferentes radios, tanto para superficies circulares internas (Fig.1.29a) como externas (Fig.1.29b).

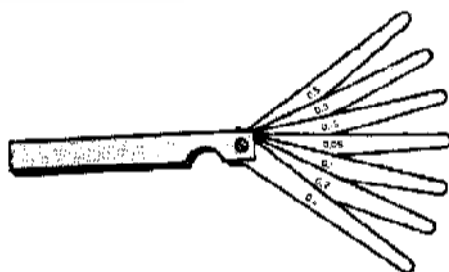


Fig.1.30

Sondas o calibres de espesores: consisten en delgadas hojas de acero (Fig.1.30) que varían de espesor y sirven para medir ranuras estrechas,

entalladuras o espacios entre superficies que no están en contacto pero sí muy cercanas. Están construidas generalmente de espesores de 5 a 50 centésimas de milímetros, o en pulgadas desde 0,002” a 0,025”. Forman un paquete que se despliega según la sonda que se desea utilizar. Cada hoja trae impreso el espesor que posee.

Peines o calibres para roscas: consiste en un juego de plantillas (Fig.1.31), denominadas también cuenta hilos, que tienen la forma de las distintas roscas, tanto para interiores como para exteriores. Se construyen para roscas Métricas (Internacional 60°), Whithworth (55°) y S.A.E.. En cada plantilla está impreso el valor del paso que corresponde.



Fig. 1.31

Ajustes y tolerancias

Cuando se desea fabricar una pieza cualquiera, se tiene el conocimiento del tamaño de la misma. Esta podrá ser un poco más grande o más chica, pero si cumple su finalidad y guarda ciertas características que la hacen aceptable, está resuelto el problema. Es decir que se tolera que dicha pieza no guarde medidas exactas a las previstas.

Cuando se fabrican piezas en forma aisladas para un conjunto, se trata de darle a éstas las medidas convenientes a fin de que el conjunto pueda funcionar. Pero cuando se fabrican piezas en serie, donde por ejemplo se deben fabricar una gran cantidad de ejes de una vez por razones de economía y rapidez, y por otro lado deben fabricarse los bujes o cojinetes para esos ejes, tanto éstos como los bujes deberán cumplir ciertos requisitos a fin de que al asentar o ajustar unos con otros, puedan funcionar y prestar el servicio requerido, indistintamente del eje y buje que encajen.

Estos requisitos se refieren muy especialmente a las medidas que deben tener o guardar cada pieza a fin de que cualquier eje pueda funcionar con cualquier buje indistintamente, es decir, que exista intercambiabilidad.

Para que ello ocurra, como es imposible prácticamente lograr la medida “nominal” especificada o deseada prevista de antemano, se admiten pequeñas diferencias, estableciendo límites, dentro de los cuales se toleran dimensiones mayores o menores que las nominales, es decir, se adoptan medidas máximas y mínimas a éstas, debiendo la pieza construida encontrarse comprendida entre estos valores.

Por lo tanto podemos establecer algunos conceptos para la fabricación de piezas en serie.

Medida nominal (N) : es la medida básica o de partida en la ejecución de una pieza. Es decir la cota o línea de cero del dibujo, la que se desearía obtener.

Medidas límites: son las medidas mayor y menor que la nominal toleradas o permitidas.

Medida máxima (Max): es la medida límite mayor que la nominal.

Medida mínima (Min): es la medida límite menor que la nominal.

Tolerancia (T): es la diferencia entre la medida máxima y la medida mínima:

$$T = \text{Max} - \text{Min} \quad (1.18)$$

La técnica mecánica de precisión está basada justamente en la tolerancia, clasificándolas para cada clase de trabajo, a fin de poder asignar en cada caso la que corresponde según las condiciones de funcionamiento o la finalidad del trabajo.

Supongamos un buje o cojinete al que llamamos agujero, y un perno o eje, los cuales se muestran en la figura (Fig.1.32), en la cual se indican las distintas medidas en las que se pueden observar los distintos conceptos enunciados anteriormente:

Diferencia superior (DS): es la diferencia entre la medida máxima (Max) y la nominal (N):

$$DS = \text{Max} - N \quad (1.19)$$

Diferencia inferior (DI): es la diferencia entre la medida mínima (Min) y la nominal (N):

$$DI = \text{Min} - N \quad (1.20)$$

Dimensión o medida real (MR): es la medida que tiene la pieza una vez terminada, debiendo ser:

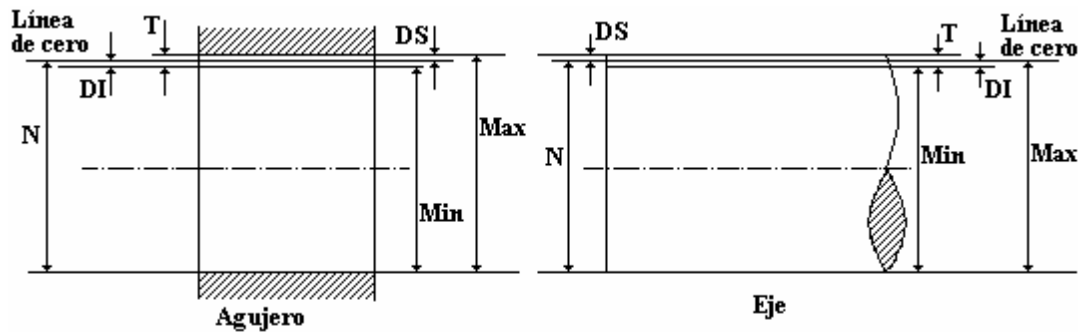


Fig.1.32

$$\text{Min} \leq \text{MR} \leq \text{Max}$$

$$(1.21)$$

A fin de facilitar la intercambiabilidad de piezas, los países han establecido tablas de tolerancias, preparándose Sistemas de Límites y Ajustes, cuya aplicación se hizo internacional a partir de 1926 cuando I.S.A. (International Standard Association) dictó normas que fueron aceptadas paulatinamente en todo el mundo. En Argentina, IRAM estableció sobre la base de estas normas las que se utilizan actualmente en el país. En Alemania, las normas se denominan DIN.

La unidad de medida utilizada para construir las piezas es el milímetro, en tanto que las tolerancias se expresan en fracciones de milímetros, o sea en décimas de milímetros, centésimas de milímetros y milésimas de milímetros o micrones, utilizada en los países que adoptaron el Sistema Internacional (SI). En los países de habla inglesa se utiliza aún la pulgada y la milésima de pulgada.

Distintas formas de acotar medidas

En la figura (Fig.1.33) pueden observarse las distintas formas de acotar las medidas de agujeros y ejes. Antiguamente se colocaba únicamente la medida nominal. Actualmente se indican la nominal con los límites admisibles, anteponiéndose los signos más (+) o menos (-) según corresponda. También se colocan las dimensiones máxima y mínima o también utilizando la notación de los sistemas de ajustes.

Ajustes: cuando se deben ejecutar un par de piezas que actuarán en relación de dependencia entre ambas, se dice que se deben ajustar entre sí. Generalmente el ajuste se realiza entre una pieza que debe penetrar en otra (macho) y una pieza que debe ser penetrada por la primera (hembra).

Estas piezas reciben el nombre de eje (macho) y de agujero (hembra). Si estas

piezas, que ajustan entre sí, entran fácilmente, sin interferencia entre ambas, o entran en forma apretada, con interferencia, se dice que presentan juego o aprieto respectivamente, ya sea tengan movimiento una respecto de otra o estén fijas.

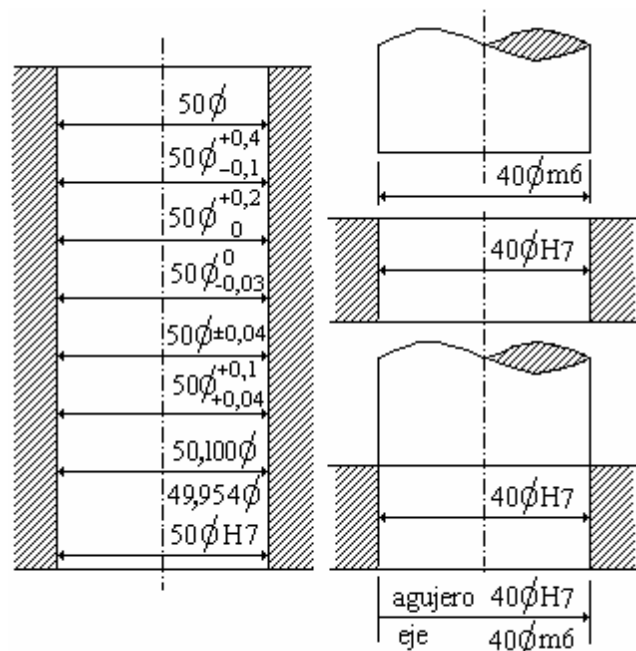


Fig.1.33

Existe una posición intermedia que se la denomina Deslizamiento que es cuando no posee interferencia ni juego (teóricamente) o posee juego mínimo. De la forma en que encajan las piezas unas con otras surgen las distintas formas de ajustes que reciben las siguientes denominaciones:

Juego (J): es la diferencia entre los diámetros de agujero y eje. Existe juego cuando el diámetro del agujero es mayor que el diámetro del eje.

Deslizamiento (Dz): cuando prácticamente no existe diferencia entre los diámetros del agujero y del eje. En estos casos siempre existe un pequeño juego.

Aprieto (A): es la diferencia entre los diámetros del eje y agujero. Existe aprieto cuando el diámetro del eje es mayor que el del agujero.

Juego máximo (Jmax): es la diferencia entre la medida máxima del diámetro del agujero y la mínima del diámetro del eje.

Juego mínimo (Jmin): es la diferencia entre la medida mínima del diámetro del agujero y la máxima del diámetro del eje.

Aprieto máximo (Amax): es la diferencia entre la medida máxima del diámetro del eje y la mínima del diámetro del agujero.

Aprieto mínimo (Amin): es la diferencia entre la medida mínima del diámetro del eje y la máxima del diámetro del agujero.

En la figura (Fig.1.34) se observan los distintos tipos de ajustes mencionados. La unión puede por lo tanto ser realizada de dos modos fundamentales: holgados (con juego) o apretado (sin juego), existiendo una posición intermedia llamada deslizamiento. Además existen grados intermedios de ajustes, que dependen del valor relativo de las tolerancias con respecto a las cotas reales de la pieza (márgenes de ajuste).

Se pueden, por lo tanto, clasificar los ajustes en tres grupos principales:

1°- Libre u holgado (con juego, de giro, libre, etc.)

2°- De sujeción o apretado (calado, bloqueado, forzado, prensado)

3°- De deslizamiento (entrada suave, de centrado, etc.).

Grados de ajustes: han sido normalizados por ISA distintos grados de ajustes, siendo éstos los siguientes:

- Juego fuerte; juego ligero; juego libre; juego justo.

- Deslizamiento: sin juego o con juego.

- Aprieto; entrada suave: adherencia; arrastre; forzado; a presión.

Precisión: es el grado de exactitud, respecto de una medida, con la cual se fabrica u obtiene una pieza o elemento.

Grado de precisión: es la divergencia permitida entre la medida nominal y la medida real obtenida.

Tolerancias fundamentales o calidades: en el sistema ISA se denomina calidad al grado de precisión con que se desea trabajar una pieza. La calidad se refiere a la tolerancia de las dimensiones de cada pieza en sí, y no al conjunto de piezas que deben encastrar entre sí. ISA distingue cuatro calidades de ajustes, según el grado de precisión con que debe ejecutarse el mismo, siendo éstos los siguientes:

1°- **Calidad extra precisa:** de alta precisión, está destinada a la fabricación de instrumentos de medición, de laboratorio o para piezas que necesitan un elevado grado de precisión.

2°- **Calidad precisa o fina:** es la más frecuentemente usada en la construcción de máquinas-herramientas, motores de combustión interna, bombas, compresores, etc.

3°- **Calidad ordinaria, mediana o corriente:** se adopta para mecanismos accionados a mano, árboles de transmisión, anillo de seguros, vástagos de llaves, etc.

4°- **Calidad basta o gruesa:** se adopta para mecanismos de funcionamiento más rudos y con el objeto de lograr intercambiabilidad, como pasadores, palancas de bombas manuales, algunas piezas de máquinas agrícolas, etc.

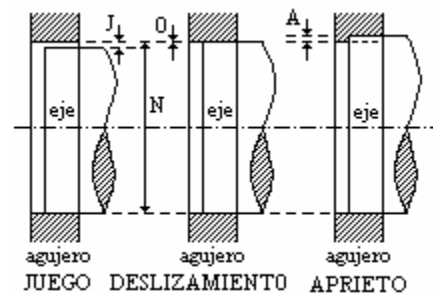


Fig.1.34

Sistemas de ajustes

Cuando se trata de la fabricación de ejes y agujeros, los cuales deben girar con mayor o menor facilidad, o bien permanecer fijos respondiendo a un mayor o menor aprieto, se resuelve el problema con arreglo a dos sistemas de ajustes. Estos sistemas nacen del hecho de considerar cual de los dos elementos del par de piezas a fabricar puede asumir la característica de normal o básico, y cual de ellos deber permanecer como elemento variable o no normal. Estos sistemas se denominan de AGUJERO ÚNICO y de EJE ÚNICO, y tienen la característica de que el que se tome como base se construye de una medida uniforme (medida nominal contemplando la tolerancia correspondiente), siendo común para todos los asientos o ajustes de igual calidad. En tanto el otro se construye con dimensiones mayores o menores permitiendo la variación de la tolerancia de ajuste de modo de obtener el juego "J" o aprieto "A" correcto.

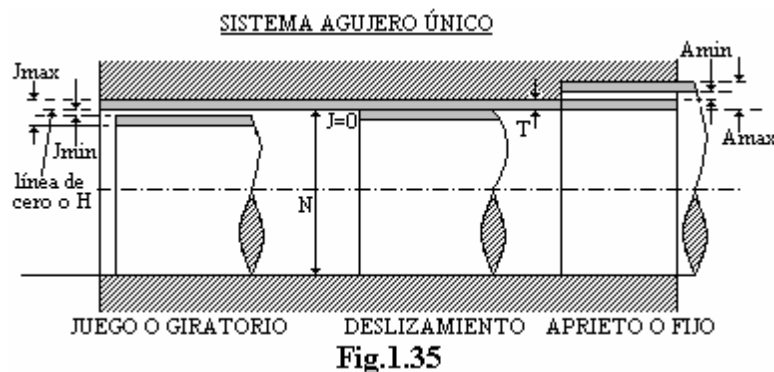
En ambos sistemas la medida nominal "N" es el punto de origen para las diferencias (tolerancias), siendo la línea de cero. ISA hace corresponder una letra para cada zona de ajuste. Se estudiarán ambos sistemas y sus características.

Sistema de agujero único (agujero base)

Toma como elemento base el agujero, siendo común para todos los ejes que se fabriquen. El punto de origen o línea de cero en este sistema es la medida mínima del agujero, que coincide con la nominal (N) o sea que la diferencia inferior es 0:

$$DI = \text{Min} - N = 0 \Rightarrow \text{Min} = N \quad (1.22)$$

En las normas ISA la línea de cero corresponde a la letra *H* para agujero único. En la figura (Fig.1.35) se puede observar en este sistema las tolerancias que se toman para las distintas



calidades, con juego, deslizante y con aprieto.

Se puede notar por lo tanto, que para el sistema de agujero único, la tolerancia del mismo se toma con signo positivo, es decir que puede la medida real ser mayor que la nominal N, pero nunca menor:

$$MR = N^+ \quad (1.23)$$

Sistema de eje único (eje base)

Toma como elemento base el eje siendo común para todos los agujeros de los bujes o cojinetes que se fabriquen. El punto de origen o línea de cero en este sistema es la medida máxima del eje, que coincide con la nominal, o sea que la diferencia superior es 0:

$$DS = \text{Max} - N = 0 \Rightarrow \text{Max} = N \quad (1.24)$$

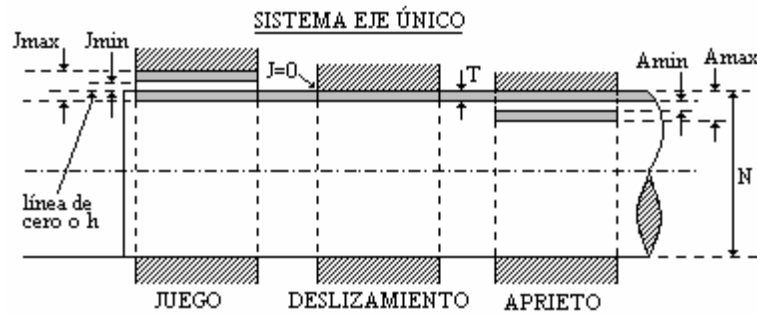


Fig.1.36

En las normas ISA la línea de cero corresponde a la letra h para el sistema de eje único. En la figura (Fig.1.36) se puede observar en este sistema las tolerancias que se toman para las distintas calidades, con juego, deslizante y con aprieto.

Se puede notar que para el eje único las tolerancias del mismo se toman con signo negativo, es decir que la medida real puede ser menor que la nominal pero nunca mayor:

$$MR = N^{-0} \quad (1.25)$$

En ambos sistemas, de agujero único y de eje único, la tolerancia de la pieza se ha determinado en el sentido de poder quitarle material.

Las piezas construidas por cualquier fabricante cumpliendo con las condiciones exigidas en los sistemas de ajustes, son intercambiables entre sí.

Actualmente en los planos, la medida de una pieza de máquina o elemento, suele indicarse por sus cotas límites (Fig.1.37).

Se ha visto que el sistema de agujero único tiene una sola tolerancia en el agujero y el sistema de eje único tiene una sola tolerancia en el eje. Se dice que cuando la zona de tolerancia referida a la nominal es

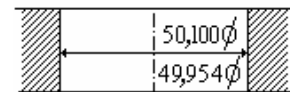


Fig.1.37

en una sola dirección de la línea de cero, la tolerancia está distribuida en forma unilateral, y cuando ella es repartida hacia uno y otro lado de la línea de cero, es bilateral.

Para establecer los límites (tolerancias) que corresponden a cada calidad, existe un procedimiento dado por las normas ISA, basado en el valor de la unidad de precisión i , de acuerdo a la expresión:

$$i = 0,45\sqrt[3]{N} + 0,001N \quad (1.26)$$

estando i en micrones (μ) y N en milímetros. El término $0,001N$ se introduce por la influencia térmica, tomando la temperatura base igual a 20°C .

Con esta unidad de precisión se pueden obtener las tolerancias fundamentales.

En el sistema de ajustes ISA, la amplitud del campo de tolerancia es definida por un número que determina la calidad de elaboración. Este número está comprendido entre 1 y 16, utilizándose los números 1 a 4 para ajustes extraprecisos (aparatos de medición); 5 a 11 para ajustes precisos, cubriendo los casos normales de acoplamientos mecánicos, comprendidos desde los más precisos a los más bastos; de 12 a 16 contemplan piezas que no son acoplables directamente luego de elaboradas mediante fresado, laminado, fusión y estampado.

Además en el sistema ISA, la posición de la zona de ajuste respecto a la línea de cero, que da la característica del ajuste con relación al juego, aprieto o deslizamiento, queda definida por una letra, que es mayúscula para los agujeros y minúscula para los ejes. La letra H mayúscula

corresponde a los casos de "agujeros únicos", con tolerancia de cero a más (N^{+0}). La letra h minúscula corresponde a los casos de "ejes únicos", con tolerancia de cero a menos (N^{-0}). Por lo tanto con H se indica la zona de tolerancia de agujeros cuyas medidas mínimas son iguales a la

nominal ($DI = 0$), y con h se indica la zona de tolerancia de ejes cuyas medidas máximas son iguales a la medida nominal ($DS = 0$).

Suponiendo que se acoplen todos los ejes con el agujero básico H , admitiendo una misma calidad en ambas piezas, las zonas de ajustes dadas por las letras correspondientes a los ejes darán los siguientes tipos de asiento: agujero H con ejes a, b, c, d, e, f, g , acoplamiento móvil o giratorio, con juego decreciente según el orden alfabético; agujero H con árbol h , acoplamiento deslizante; agujero H con eje j , acoplamiento forzado ligero; agujero H con eje k acoplamiento forzado medio; agujero H con ejes m, n , acoplamiento forzado duro; agujero H con ejes $p, r, s, t, u, v, x, y, z$, acoplamientos prensados con interferencia creciente según el orden alfabético.

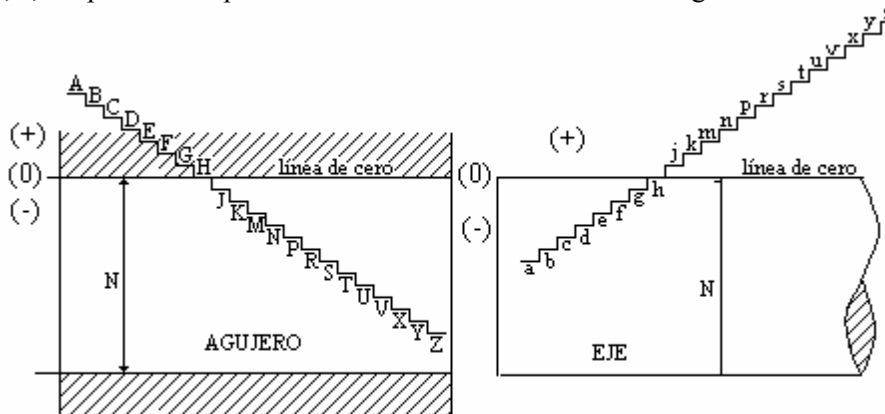


Fig.1.38

Lo mismo se tiene al acoplar el eje básico h con todos los agujeros, obteniéndose los ajustes: eje h con agujeros A, B, C, D, F, G , acoplamiento móvil o giratorio con juego decreciente según el orden alfabético; eje h con agujero H , acoplamiento deslizante; eje h con agujero J , acoplamiento forzado ligero; eje h con agujero K , acoplamiento forzado medio; eje h con agujeros M, N , acoplamiento forzado duro; eje h con agujeros $P, R, S, T, U, V, X, Y, Z$, acoplamientos prensados con interferencia creciente según el orden alfabético. En la figura (Fig.1.38) se puede observar ambos sistemas graficados, lo que permite visualizar los tipos de ajustes que se pueden realizar, tanto de agujero único como de eje único.

Para determinar las tolerancias correspondientes a las calidades dadas por la numeración 1 a 16, ISA fija el valor $10i$ como tolerancia fundamental de la calidad 6 (IT6), obteniéndose las

tolerancias sucesivas de la serie de números normales de razón $\sqrt[3]{10}$. Así las tolerancias fundamentales a partir de la calidad IT5 son las siguientes:

IT5: $7i$; IT6: $10i$; IT7: $16i$; IT8: $25i$; IT9: $40i$; IT10: $64i$; IT11: $100i$; IT12: $160i$; IT13: $250i$; IT14: $400i$; IT15: $630i$; IT16: $1000i$. El valor de i es el dado por la expresión (1.25).

ISA establece en una tabla de calidades y diámetros nominales las tolerancias fundamentales para cada medida (Fig.1.39) de agujero único y eje único.

Por lo tanto el sistema ISA establece para cada ajuste la zona de tolerancia mediante el diámetro nominal, la letra que da la clase de asiento o ajuste y el número que indica la calidad: $50\text{Ø}H7$; $40\text{Ø}m6$.

ISA ha establecido además tablas de ajustes ISA, (ver Anexo I y Anexo II) separadas en dos grupos: agujero único y eje único, donde figuran medidas nominales de 1mm hasta 315mm en los grupos de calidades Perfecta (alta precisión), Precisa, Ordinaria y Basta, subdivididas a su vez en ajustes de calidades intermedias.

Cuando se adopta un sistema, ya sea agujero único o eje único, corresponde un tipo de calidad ya sea del agujero o del eje respectivamente, determinando el tipo o clase de ajuste o asiento que se obtiene entre el agujero y el eje. Este ajuste puede indicarse combinando las notaciones de ambas tablas, quedando así perfectamente definido el tipo de ajuste. Por ejemplo, para designar un asiento se escribe primero el valor nominal seguido de la expresión que da el agujero y luego

$$\frac{H6}{m5}$$

el eje: $150\ m5$, $150\ H6-m5$, $150\ H6/m5$ que es un acoplamiento forzado duro en el sistema de

agujero único con diámetro nominal 150mm con las cotas siguientes: agujero: 150^{+25}_0 ; eje

150^{+33}_{+15} . Si fuera 225 $h5$, 225 M6-h5, 225 M6/h5, corresponde a un acoplamiento forzado

TOLERANCIAS FUNDAMENTALES

| GRUPO DE DIMENSIONES mm. | CALIDAD | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 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 |
| De 1 a 3 | 0,0015 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,007 | 0,009 | 0,014 | 0,025 | 0,040 | 0,060 | 0,090 | 0,140 | 0,250 | 0,400 | 0,600 |
| De más | 3 a 6 | 0,0015 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,008 | 0,012 | 0,018 | 0,030 | 0,048 | 0,075 | 0,120 | 0,180 | 0,300 | 0,480 |
| » | 8 a 10 | 0,0015 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,006 | 0,009 | 0,015 | 0,022 | 0,036 | 0,058 | 0,090 | 0,150 | 0,220 | 0,360 | 0,580 |
| » | 10 a 18 | 0,0015 | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,008 | 0,011 | 0,018 | 0,027 | 0,043 | 0,070 | 0,110 | 0,180 | 0,270 | 0,430 | 0,700 |
| » | 18 a 30 | 0,015 | 0,002 | 0,004 | 0,006 | 0,009 | 0,013 | 0,021 | 0,033 | 0,052 | 0,084 | 0,130 | 0,210 | 0,330 | 0,520 | 0,840 |
| » | 30 a 50 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,007 | 0,011 | 0,016 | 0,025 | 0,039 | 0,062 | 0,100 | 0,160 | 0,250 | 0,390 | 0,620 | 1,000 |
| » | 50 a 80 | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,008 | 0,013 | 0,019 | 0,030 | 0,046 | 0,074 | 0,120 | 0,190 | 0,300 | 0,460 | 0,740 | 1,200 |
| » | 80 a 120 | 0,003 | 0,004 | 0,006 | 0,010 | 0,015 | 0,022 | 0,035 | 0,054 | 0,087 | 0,140 | 0,220 | 0,350 | 0,540 | 0,870 | 1,400 |
| » | 120 a 180 | 0,004 | 0,005 | 0,008 | 0,012 | 0,018 | 0,025 | 0,040 | 0,063 | 0,100 | 0,160 | 0,250 | 0,400 | 0,630 | 1,000 | 1,600 |
| » | 180 a 250 | 0,005 | 0,007 | 0,010 | 0,014 | 0,020 | 0,029 | 0,046 | 0,072 | 0,115 | 0,185 | 0,290 | 0,460 | 0,720 | 1,150 | 1,850 |
| » | 250 a 315 | 0,006 | 0,008 | 0,012 | 0,016 | 0,023 | 0,032 | 0,052 | 0,081 | 0,130 | 0,210 | 0,320 | 0,520 | 0,810 | 1,300 | 2,100 |
| » | 315 a 400 | 0,007 | 0,009 | 0,013 | 0,018 | 0,025 | 0,036 | 0,057 | 0,089 | 0,140 | 0,230 | 0,360 | 0,570 | 0,890 | 1,400 | 2,300 |
| » | 400 a 500 | 0,008 | 0,010 | 0,015 | 0,020 | 0,027 | 0,040 | 0,063 | 0,097 | 0,155 | 0,250 | 0,400 | 0,630 | 0,970 | 1,550 | 2,500 |

← EJE →

← AGUJERO →

Para trabajos de calibres.

← AGUJERO →

← EJE →

Para trabajos de piezas destinadas a ser acopladas entre ellas.

Para trabajos ordinarios en piezas aisladas, tales como laminado estirado, prensado, etcétera.

En esta tabla se estiman las tolerancias fundamentales cuyo ejemplo es el siguiente: Tolerancia en un agujero calidad IT 7 sobre la línea ideal cero, o sea, H 7 y diámetro 200 mm, es = + 0,046 y 0,000. En iguales condiciones el EJE h 6 de 200 mm, diámetro es = - 0,029 y + 0,000.

Fig.1.39

duro en el sistema de eje único siendo las cotas para el eje 225^{-20}_0 y agujero 225^{-37}_{-8} . Cuando no se dispone de tablas de tolerancias se puede llegar a determinar las mismas mediante la ley a que obedecen las diferencias más cercanas a la línea de cero de agujeros y ejes. Esta ley se expresa mediante:

$$D = \text{Constante} \cdot N^n \tag{1.27}$$

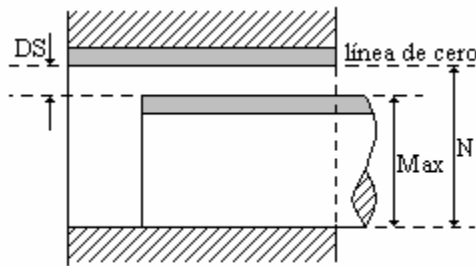


Fig.1.40

Para agujero o único, se obtiene la diferencia superior

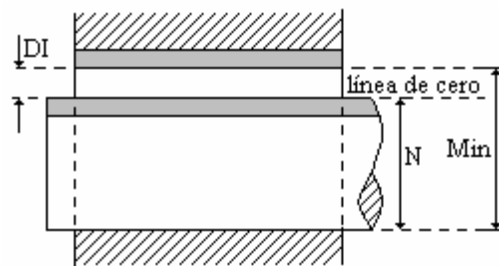


Fig.1.41

or DS de acuerdo a las expresiones siguientes para asientos móviles (Fig.1.40):

Para eje a: $DS = 64 N^{0,5}$ (1.28)

Para eje b: $DS = 40 N^{0,48}$ (1.29)

Para eje c: $DS = 25 N^{0,40}$ (1.30)

Para eje d: $DS = 16 N^{0,44}$ (1.31)

Para eje e: $DS = 11 N^{0,41}$ (1.32)

Para eje f: $DS = 5,5 N^{0,41}$ (1.33)

Para eje g: $DS = 2,5 N^{0,34}$ (1.34)

En estas expresiones N está en milímetros, resultando DS en micrones. Para ejes únicos se calcula la diferencia inferior de los asientos móviles de la misma manera y con las mismas relaciones, tomando la línea de cero ahora sobre el eje y calculando DI, según la figura (Fig.1.41):

Para agujero A: $DI = 64 N^{0,5}$ (1.35)
 Para agujero B: $DI = 40 N^{0,48}$ (1.36)
 Para agujero C: $DI = 25 N^{0,40}$ (1.37)
 Para agujero D: $DI = 16 N^{0,44}$ (1.38)

Para agujero E: $DI = 11 N^{0,41}$ (1.39)
 Para agujero F: $DI = 5,5 N^{0,41}$ (1.40)
 Para agujero G: $DI = 2,5 N^{0,34}$ (1.41)

Para los casos de asientos fijos (Fig.1.42) y (Fig.1.43), de las calidades 5, 6 y 7 se determinan, para el sistema agujero único la diferencia inferior DI, y para eje único se determina la diferencia superior DS.

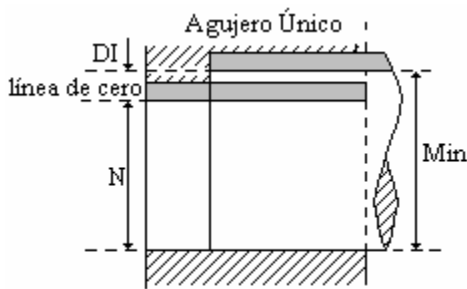


Fig.1.42

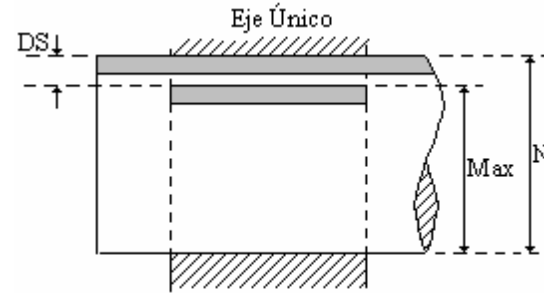


Fig.1.43

Para eje *k* (agujero K): $DI (DS) = 0,6 \sqrt[3]{N}$ (1.42)

Para eje *m* (agujero M): $DI (DS) = 2,8 \sqrt[3]{N}$ (1.43)

Para eje *n* (agujero N): $DI (DS) = 5 N^{0,34}$ (1.44)

Para eje *p* (agujero P): $DI (DS) = 5,6 N^{0,41}$ (1.45)

----- () -----

Apuntes de clases extractados de la siguiente bibliografía

| TÍTULO | AUTOR | EDITORIAL |
|--|-----------------------|--------------|
| - Aplicaciones de Tecnología Mecánica | Felipe F. Freyre | Alsina |
| - Tecnología Mecánica | P. A. Pezzano | Alsina |
| - Tecnología Mecánica | C. E. Thomas | Nigar |
| - Mecánica de Taller | E. Solsona | Alsina |
| - Tecnología de los Metales | H. Appold y otros | Reverté |
| - Manual del Constructor de Máquinas | H. Dubbel | Labor |
| - Máquinas, Cálculos de Taller | A. L. Casillas | Máquinas |
| - Manual del Ingeniero | Hütte | Gustavo Gili |
| - Manual del Ingeniero Mecánico de Marks | Baumeister y Marks | Uteha |
| - Metrología | C. González-R. Zeleny | Mc Graw Hill |