

DEFECTOS EN PIEZAS MECÁNICAS MEDICIÓN DE EJES Y AGUJEROS

Defectos en piezas mecánicas

Los defectos (errores) que se encuentran en las piezas, pueden ser de 3 tipos: a) Dimensionales, b) De forma, c) De posición. Todos ellos son considerados macrogeométricos.

a) Defectos dimensionales

Diferencia entre las dimensiones obtenidas midiendo la pieza y las teóricas dadas por el diseño o pieza prototipo. Pueden ser de tipo lineal o angular.

b) Defectos de forma

Diferencias entre la forma (línea o superficie) real de la pieza y la forma geométrica (ideal) representada en el diseño o pieza prototipo.

Se consideran defectos de forma, las deficiencias relacionadas con los siguientes elementos:

b1) Rectitud: distancia entre los puntos de la línea considerada y la recta geométrica de referencia (recta patrón). La figura 1 muestra esa distancia respecto al punto mas alejado (distancia máxima).

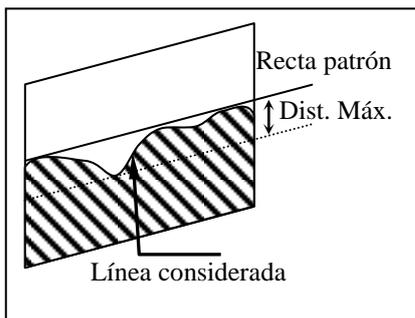


Figura 1

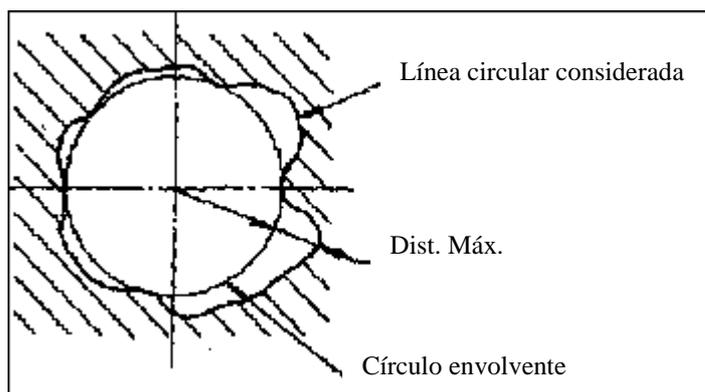


Figura 3

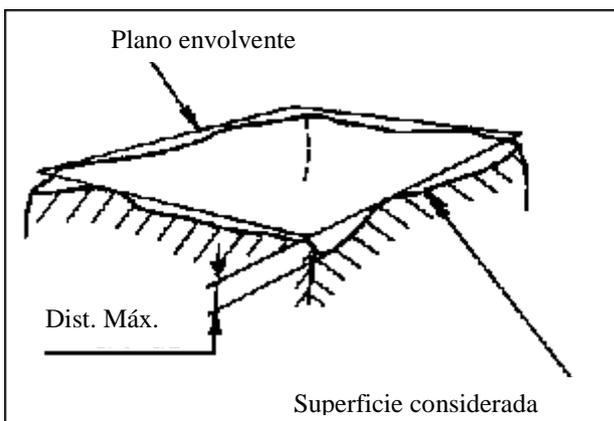


Figura 2

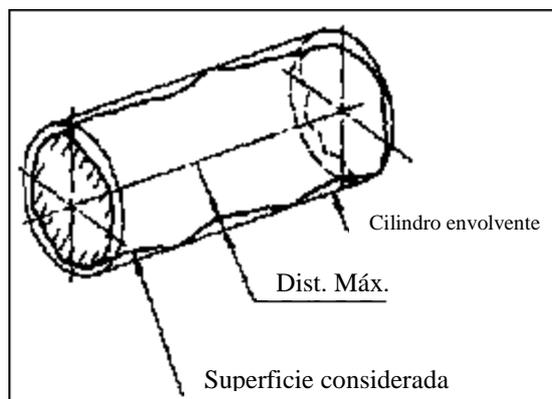


Figura 4

b2) Planedad: Distancia entre cualquier punto de la superficie considerada y el plano envolvente (Plano patrón o mármol), figura 2.

b3) Circularidad (Redondez): Distancia radial entre el contorno de la sección normal al eje del cilindro y el círculo ideal, figura 3.

b4) Cilindricidad: Distancia radial entre cualquier punto de la porción de cilindro considerada y el cilindro ideal (envolvente), figura 4.

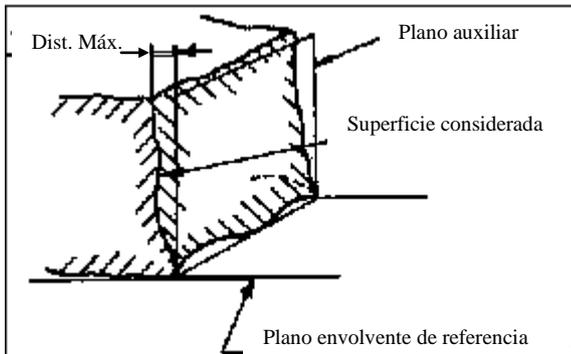


Figura 5

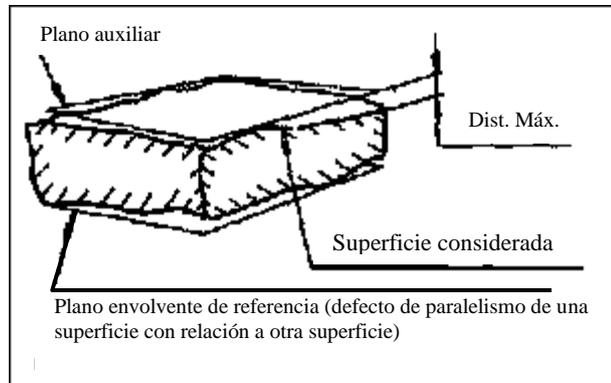


Figura 6

c) Defectos de posición:

Diferencias entre la posición real de una recta o plano de la pieza respecto de otra recta o plano tomados como referencia cuyas formas geométricas (ideales) son correctas (satisfacen cierta precisión).

Se consideran defectos de posición, las deficiencias relacionadas con los siguientes elementos:

c1) Perpendicularidad: Distancia entre la línea o superficie considerada y una línea de envolvente o plano auxiliar perpendicular al plano, figura 5.

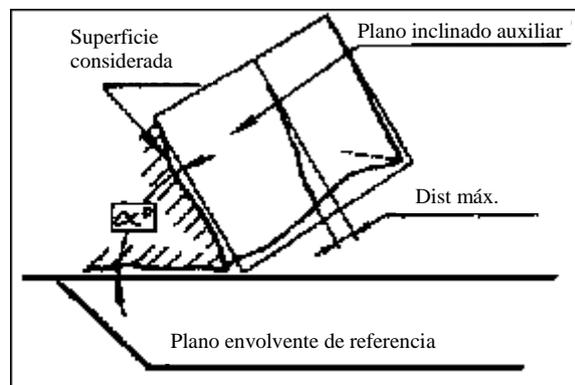


Figura 7

c2) Paralelismo: Distancia entre cualquier punto de la superficie o línea considerada y un plano auxiliar paralelo al plano de referencia (Plano patrón), figura 6.

c3) Angularidad (Inclinación): Diferencia entre el ángulo medido y el requerido. Puede involucrar tanto a ejes como a superficies, figura 7.

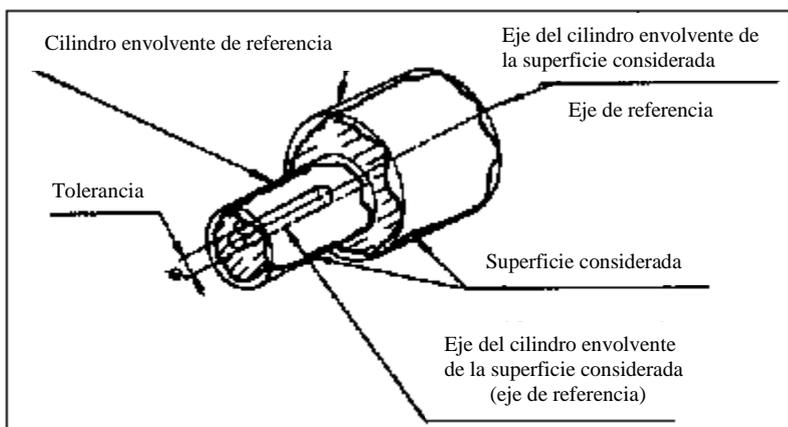


Figura 8

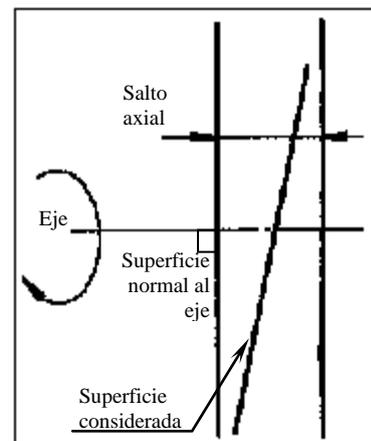


Figura 9

c4) Excentricidad: Distancia radial entre el eje de una superficie de revolución y un eje de giro paralelo tomado como referencia, figura 8.

c5) Coaxialidad: Diferencia entre la posición real del eje de una superficie de revolución y un eje de giro tomado como referencia. Incluye los defectos de excentricidad y de inclinación entre ejes.

Nota: En todas las figuras vistas se acota la distancia al punto mas alejado de la superficie o línea considerada respecto de la superficie (ó línea) de referencia o auxiliar, según el caso.

Otros defectos de posición, que se detectan y miden con comparador son:

Salto Axial: Desviación total de la lectura del comparador, en dirección paralela al eje de giro, en una vuelta completa de la pieza, figura 9. La superficie que se palpa con el comparador es aproximadamente normal al eje.

Salto Radial: Desviación total de la lectura del comparador en una vuelta completa de la pieza, en dirección radial respecto a su eje de giro, palpando superficies cilíndricas o cónicas, fig.10.

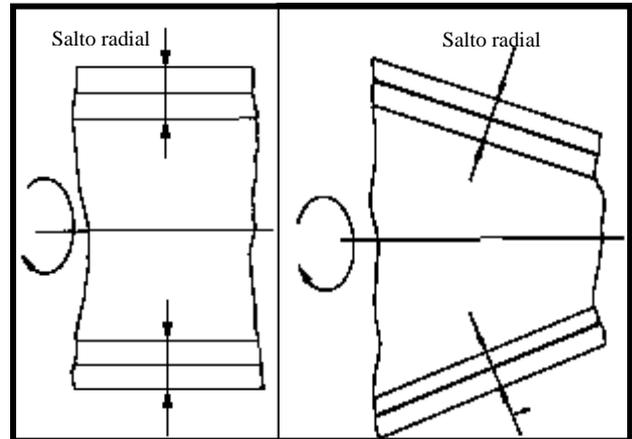


Figura 10

Forma geométrica de las piezas de revolución.

Al torneear, fresar, rectificar, etc. pueden producirse diferencias con respecto a la forma ideal deseada.

En piezas que no llevan tolerancias respecto a la forma geométrica y a la rugosidad de superficie, dichas diferencias pueden quedar comprendidas dentro de los límites dados por la tolerancia para las medidas lineales.

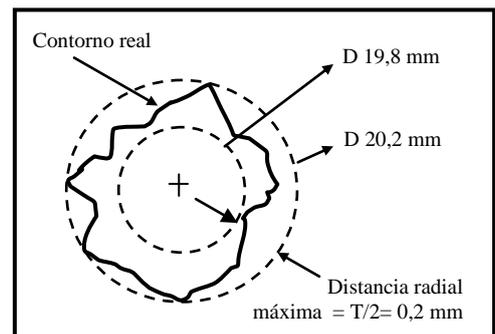


Figura 11

Para ese caso, si el diámetro de la pieza es de $20 \pm 0,2$ mm, siendo 0,2 el semi-intervalo de la tolerancia (T), el contorno (o el cilindro) real estará comprendido entre las medidas límites del diámetro 20,2 y 19,8 (Figura 11). Por lo tanto el defecto de circularidad dado por la distancia radial máxima entre los círculos inscripto y circunscripto del contorno real será de 0,2 mm.

Nota: Por definición el defecto de circularidad está dado por la distancia radial entre el contorno de la sección real y el círculo ideal, aquí representado por los círculos inscripto o circunscripto.

De acuerdo con los conceptos que hoy en día existen, los ajustes que no han excedido del límite superior e inferior deben considerarse todavía como buenos a pesar de una forma defectuosa, o sea que la diferencia con respecto a una forma geométrica van a cargo de la tolerancia de las medidas y en este sentido pueden ser tan grandes como estas.

Las diferencias con respecto a la forma deseada, tales como las formas incorrectas de circunferencia, de la planedad, del paralelismo, de la perpendicularidad y de la cilindricidad, se designan como macrogeométricas. En la figura 12 se muestran las figuras macrogeométricas (circularidad y cilindricidad) que pueden aparecer en el mecanizado de ejes y agujeros.

Formas defectuosas corrientes de diámetros exteriores e interiores

Las formas defectuosas que pasan desapercibidas para algún método de medición, o sea que dan la misma lectura para cualquier posición diametral de palpado, se denominan **de igual espesor** en el caso de ejes, o **de igual anchura** para los agujeros. (Ejemplo: forma triangular al ser medida por palpado diametral en 2 puntos, con micrómetro corriente, pie de rey, etc.).

Las formas triangulares de igual espesor son las que se producen con mayor frecuencia en el rectificado sin centros de ejes. Las formas triangulares de igual anchura, se producen por la fijación en el plato universal del torno (en tres puntos) de cilindros huecos de paredes delgadas (bujes de pared delgada).

La forma ovalada indica un apoyo defectuoso del husillo del torno (que dicho eje salta o bien que la fijación es incorrecta). De ello resulta un importante desplazamiento lateral del material en la pieza a mecanizar; deformación subsiguiente por liberación de tensiones en la pieza (diámetros interiores).

La forma poligonal (de un gran número de lados) se produce por efecto de la vibración de la máquina o por un número de vueltas demasiado pequeño, apoyo insuficiente, etc.

La forma excéntrica se produce debido a un exceso irregular del material (exceso para rectificar) o por una fijación incorrecta.

Resumiendo: Por **falta de redondez u ovalamiento** se designa una forma incorrecta del círculo ideal. Por **forma de igual espesor** se entiende el diámetro exterior (eje). Por **forma de igual anchura** se entiende el diámetro interior (agujero). Por **falta de redondez regular** se entiende la forma ovalada, elíptica o poligonal de número par de lados. Por **falta de redondez irregular**, se entiende la forma triangular o poligonal de número impar de lados.

Inconvenientes mecánicos de las diferencias de formas

- Desaparición de los asientos prensados y variación de ajustes en general.
- Desgaste rápido de los vértices en la superficie de los cojinetes.
- Debido a la influencia del calor o del frío, producción en los valles de los cojinetes de descomposiciones del aceite lubricante, y como consecuencia, formación de óxido que ataca al material y lo destruye.
- Marcha irregular de las ruedas. Presión unilateral sobre los rodamientos.
- La película de aceite queda cortada.

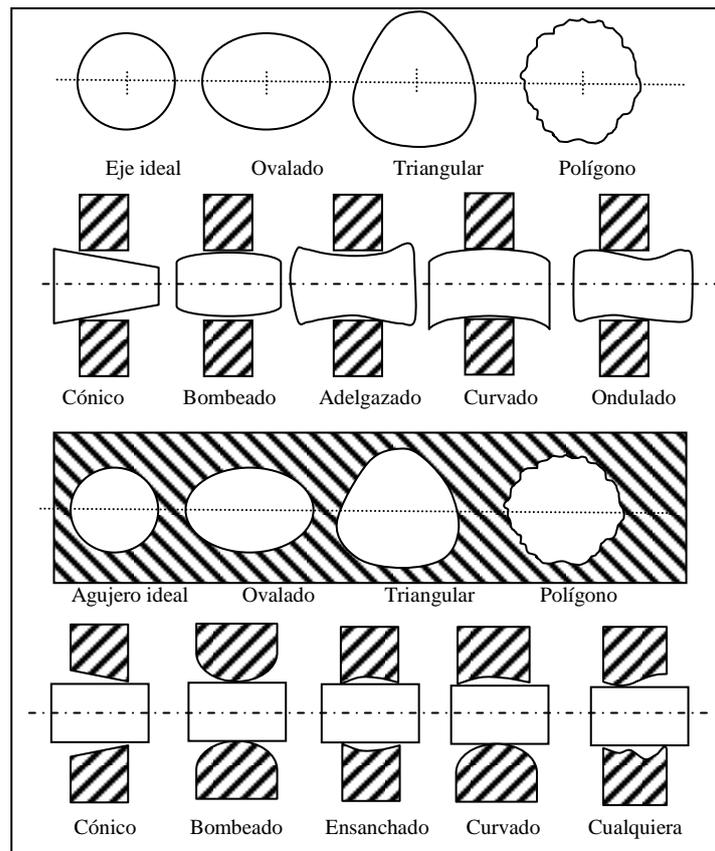


Figura 12

- Rozamiento metálico específico anormal y en consecuencia, rotura.

Cualquiera de los inconvenientes listados requerirá la **especificación de la tolerancia de forma** además de la tolerancia dimensional. Si el ajuste es entre dos piezas de revolución, una de las especificaciones será la **tolerancia de circularidad** que se expresa en términos de distancia radial y será la distancia radial máxima entre los círculos inscripto y circunscripto del contorno real. Esa distancia deberá ser menor a la diferencia radial entre las medidas límites dadas por la tolerancia del diámetro. En el ejemplo citado, una pieza de diámetro $20 \pm 0,2$ mm, la tolerancia de circularidad deberá ser menor a 0,2 mm. Asignando una tolerancia de circularidad de 0,1 mm, los valores límites del diámetro para cada pieza estarán comprendidos dentro del intervalo 20,2 - 19,8 dado por la tolerancia del diámetro pero la diferencia máxima admitida entre ellos será de 0,2 mm (Figura 13).

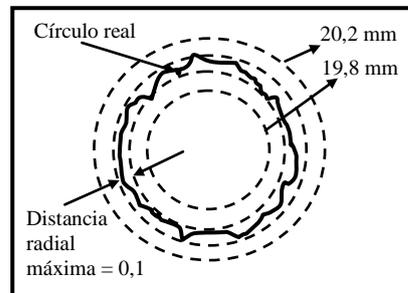


Figura 13

Medición de ejes

La posibilidad de medir óvalos o triángulos curvilíneos solo puede concretarse en base a los conocimientos que hoy se poseen referentes a la llamada forma de igual espesor (ejes), que aparentan ser circulares en la medición corriente no siéndolo en realidad. La forma de igual espesor mas corriente es el triángulo curvilíneo. Se comprende sin más, que la medición de esta forma mediante el micrómetro, da siempre la misma medida o sea el radio del arco consiguiente, quien no haya oído hablar de la forma de igual espesor y mida uno de estos ejes con el micrómetro sin tener en cuenta la forma triangular, sacará como consecuencia de la medición que es circular y que presenta un diámetro igual al radio de dichos arcos. Si se rectifica un agujero según esta medida, se encontraría que no hay forma de introducir el eje en el mismo. Es necesario calcular previamente el agujero teniendo en cuenta las características de la forma de igual espesor.

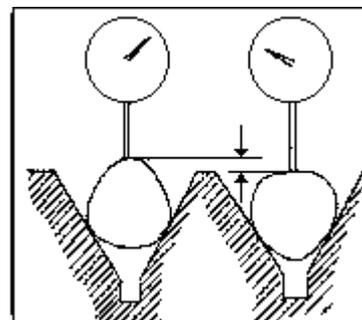


Figura 14

Pero si se apoya uno de estos ejes (triangulares) en un soporte en V de 60° de apertura y se busca para cada posición la situación del punto más alto se encontrarán, para distintas posiciones del eje, valores totalmente distintos (figura 14), por ejemplo, el mayor cuando un vértice se halla en la vertical apuntando hacia arriba y el menor cuando el vértice se halla apuntando hacia abajo. Para cualquier otro valor del ángulo del soporte en V la diferencia máxima entre dos posiciones distintas del eje será diferente. Más adelante se comprobará que para medir el defecto triangular, el ángulo debe ser de 60° , el único que permite detectar la máxima diferencia radial.

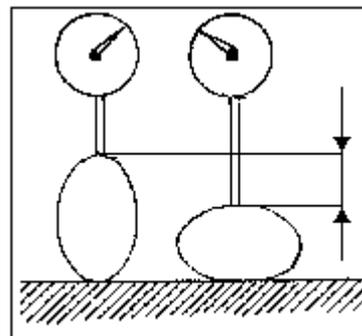


Figura 15

Si se repite la experiencia con un eje de sección elíptica (oval), se encuentra que en el soporte en V aparenta ser redondo, mientras que la medición con micrómetro, con pie de rey, o con comparador sobre un mármol permite reconocer el óvalo, figura 15.

Refiriéndonos específicamente al complejo problema que plantea la distorsión de circularidad y con el fin de evitar falsas interpretaciones e incorrectas técnicas de medición, hacemos nuestra la sugerencia de John Worthen "Gage Engineer" de Federal Products (American Machinist), en el sentido de especificar las tolerancias de falta de circularidad como una función de la variación del radio. De acuerdo a ello, las tolerancias se expresarían en estos términos: "Esta pieza debe ser redonda dentro de

0,xxxx (pulgadas o milímetros) de variación del radio". Esto es: $T = 0,xxxx$ (pulgadas o milímetros) de variación del radio.

$$T = R - r$$

Antes de seguir adelante, digamos que, además de las formas elíptica y triangular ya citadas, se presentan con frecuencia formas defectuosas de cuatro, cinco, siete, nueve y más vértices.

La pieza puede ser medida convenientemente usando ya sea un micrómetro o cualquier otra forma de medición por contacto en dos puntos diametralmente opuestos (bipolar) o por medio de piezas en V y comparador u otra forma de medición por contacto en tres puntos o tripolar, dependiendo uno u otro método del número de vértices (lóbulos) de la forma. En el caso de emplearse piezas en V y comparador, la relación entre la variación radial y la indicación del comparador puede expresarse en términos de un simple factor de multiplicación.

$$M = K \cdot (R - r)$$

En todos los casos que presentan un número par de vértices dispuestos geoméricamente, cada vértice se hallará diametralmente opuesto a otro. Puede, en consecuencia, considerarse que la pieza tiene un diámetro mayor y otro menor. Esto permite medirla, por ejemplo, en la forma indicada en las figuras 16 (entre comparador y mármol) o 17 (con micrómetro, o pie de rey) en cuyo caso el factor de multiplicación será igual a 2, significando que la diferencia de lecturas será el doble de la variación radial.

$$M = D - d = 2 (R - r); \quad K = 2$$

Cuando es impar el número de vértices debe medirse la pieza sobre el bloque en V u otro dispositivo análogo de medición por contacto en tres puntos (figura 18 o 19). El ángulo del bloque, como el factor de multiplicación, dependen del número de vértices.

De la figura 20 obtenemos la fórmula para determinar el ángulo del bloque en V adecuado a la forma que se va a medir:

$$2\alpha = 180^\circ - 360^\circ / n$$

donde: n = numero de vértices.

Mediante un sencillo análisis geométrico se obtiene la fórmula que vincula la indicación M del comparador con la variación radial: (figuras 20).

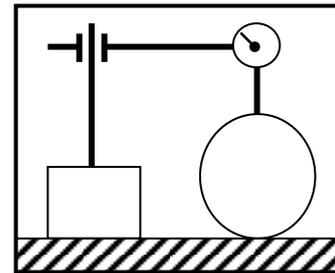


Figura 16

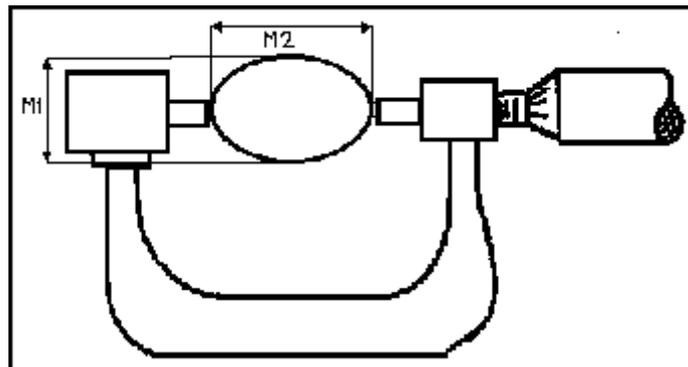


Figura 17

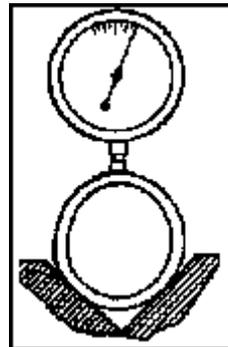


Figura 18

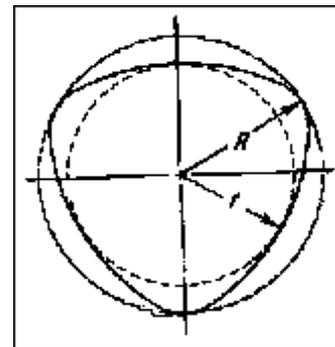


Figura 19

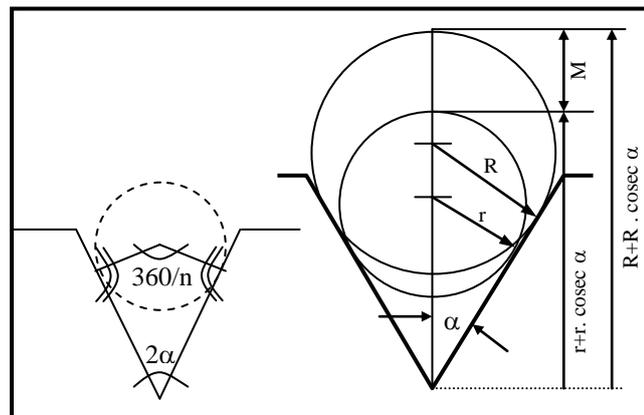


Figura 20

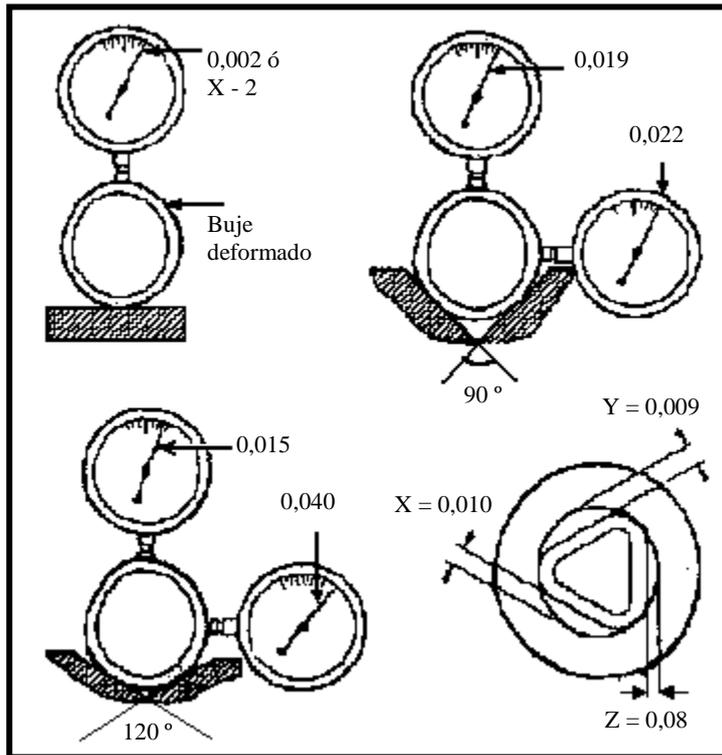


Figura 21

n	K	2 α
3	3	60°
5	2.24	108°
7	2.07	138° 40´

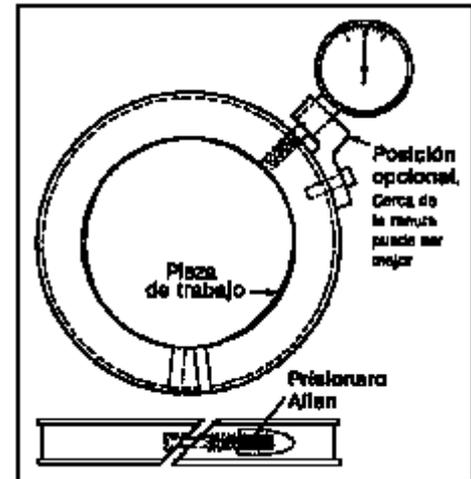


Figura 22

$$M = R + R \operatorname{cosec} \alpha - r - r \operatorname{cosec} \alpha = (R - r) \cdot (1 + \operatorname{cosec} \alpha)$$

Donde:

M = Lectura en el comparador, diferencia máxima hallada.

R = Radio del círculo circunscrito.

r = radio del círculo inscrito.

R - r = Variación radial, que debe ser menor que la tolerada.

El factor de multiplicación sería: $K = 1 + \operatorname{cosec} \alpha$

La tabla indica las aberturas 2α de los bloques en V para 3, 5 y 7 lóbulos, y el factor de multiplicación.

Conviene hacer un riguroso análisis del diseño del método para medir circularidad, pues resulta común observar diseños incorrectos, en general por una equivocada selección del tipo de instrumental.

La figura 19 muestra 3 métodos incorrectos para medir un buje triangular deformado: uno bipolar (comparador y mármol), y dos tripolares (soportes en V de 90 y 120° y 2 comparadores). Cada método arroja valores diferentes. También muestra un cuarto método: anillo que aloja al buje haciendo contacto en los vértices, que permitiría cuantificar con precisión el defecto, pero se requieren muchos anillos para cubrir la gama de diámetros de bujes dentro de la tolerancia.

La verificación con bloques V detecta la falta de circularidad, pero no da su valor preciso salvo que, como se explicó, la abertura 2α sea la correcta en función de la cantidad de lóbulos. Por lo tanto antes de efectuar la medición deberá conocerse el número de lóbulos.

Determinación del Número de lóbulos

Dependiendo del proceso de mecanizado, la pieza de revolución puede o no, presentar centros en sus extremos.

Para averiguar el N° de lóbulos en una pieza cilíndrica carente de centros, sirve el calibrador de redondez figura 22 (una modificación del anillo de la figura 21). Es un anillo ranurado, abierto unos 0,012 mm y el DI rectificado al diámetro nominal de la pieza. Esta se ubica dentro del anillo y se le da ajuste deslizante con el prisionero, se gira el anillo o la pieza, contando las veces que la aguja del comparador invierte su giro. Es posible que la incertidumbre de este aparato esté dentro del 10% de la tolerancia, cumpliendo con la Regla de oro. Puede cuantificar el defecto de redondez de pequeñas series de piezas.

En el caso de tener centros, la pieza se monta entre puntas en un dispositivo de laboratorio, y con un comparador se determina el número de lóbulos contando las veces que la aguja invierte su giro.

Medición de agujeros

En la medición de agujeros se presentan problemas especiales. En primer lugar, debe decirse que existe un solo procedimiento para determinar la forma y curso del agujero. Este procedimiento consiste en determinar la distancia de los puntos medidos con respecto al eje del agujero. Todos los restantes procedimientos se diferencian de este, fundamentalmente, en que la posición con respecto al eje de los puntos comprobados permanece desconocida, de manera que la forma del agujero debe deducirse de la posición respectiva de puntos opuestos, problema que en muy pocos casos especiales puede resolverse por cálculo. Por consiguiente, con estos otros procedimientos, debe considerarse satisfactorio poder determinar por lo menos la naturaleza y magnitud de los defectos mas importantes.

Si por ejemplo, se consideran los defectos mas corrientes en agujeros, o sea el ovalamiento y el triángulo curvilíneo, aparecen en la medición por tres puntos, el óvalo como forma de igual espesor, y en la medición por dos puntos, el triángulo curvilíneo como de igual anchura, y se presenta la cuestión de determinar si el aparato debe construirse bi o tri polar (figura 23).

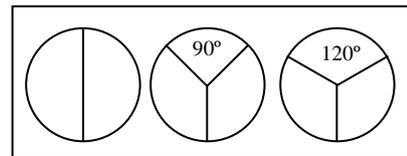


Figura 23

Como salvo rara excepción, es de igual importancia la medición del óvalo y del triángulo, hubo que buscar una solución a tal dificultad, que posibilitara la medición de ambas faltas de circularidad. Debe destacarse, no obstante, que los óvalos y triángulos curvilíneos que se presentan en la práctica no son de "anchos matemáticos", por lo que no debe esperarse demasiado en estas mediciones de falta de circularidad.

La solución al problema puede hallarse realizando una medición tripolar, pero con separación irregular de los puntos de contacto, de esta forma puede medirse un porcentaje aceptable de ambas faltas de circularidad (figura 23).

Micrómetro MAAG para medir agujeros (MIKRO – MAAG)

Un aparato para interiores que cumple con las exigencias del mecanizado de piezas intercambiables, debe medir con una precisión de 0,001 mm tal como lo realiza el calibre de tolerancias fijo. Esto solo es posible si el aparato posee gran rigidez, escaso rozamiento, e independencia del tacto del que realiza la medición; a estas exigencias responde el aparato Mikro–Maag para agujeros desde 5 mm de diámetro.

Consiste en un cabezal de medición con varillas que se introducen radialmente y que pueden desplazarse accionadas por el movimiento axial de una aguja cónica. La magnitud del desplazamiento de la aguja, variable con arreglo al diámetro del agujero, se mide mediante un micrómetro montado en el mango del aparato y en cuya escala puede leerse directamente la medida con una precisión de 0,001 mm (figura 24).

Su gran precisión exige una gran subdivisión de los elementos de medición. Así, por ejemplo, el juego B1 que mide de 15 a 40 mm lleva 25 cabezales escalonados de 1 mm en 1 mm para abarcar la zona de medición y 10 agujas escalonadas de 0,1 mm en 0,1 mm en el diámetro para salvar el escalonado de los cabezales. Cada combinación cabezal-aguja, presenta con ello una zona de medición de $-0,1$ a $+0,06$ mm de la medida nominal de la misma, o sea, un total de 0,16 mm. Con estos elementos puede medirse cualquier elemento entre 15 y 40 mm con una precisión de 0,001 mm. en este caso, lo mejor es realizar la medición previa con un buen pie de rey (para conocer a priori el rango de medición).

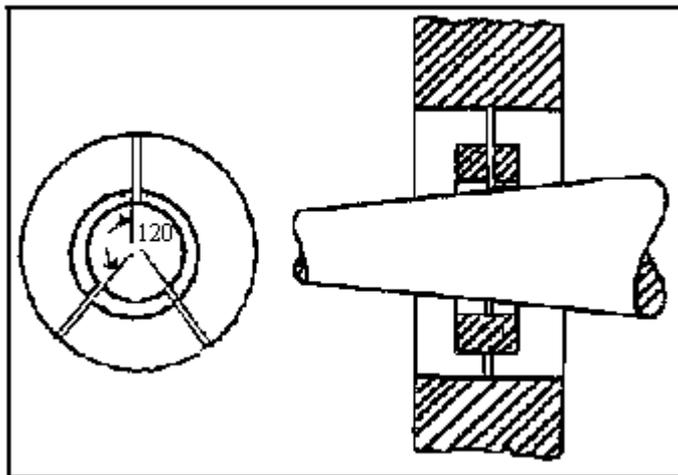


Figura 24

La máxima precisión se obtiene dando a la aguja una conicidad muy pequeña (por ejemplo, una inclinación del 4% en el juego B1). Entonces a un desplazamiento de 1 mm de la aguja corresponde una diferencia en el diámetro del agujero de 0,04 mm, o bien 0,1 de diferencia en el agujero, da un desplazamiento de la aguja igual a 2,5 y un tambor con 50 divisiones en la escala, cada división de esta última representa 0,001 mm de diámetro en el agujero que se quiere medir.

Además es digno de tener en cuenta que el micrómetro y la aguja se hallan totalmente separados, y que el primero solo se hace avanzar mediante un resorte, con lo cual la medición se hace totalmente independiente del tacto. La conicidad de la aguja representa una reducción que se aplica a todos los errores longitudinales del aparato en la misma proporción. Ello posibilita el empleo de alargadores de casi cualquier tamaño entre el husillo y el cabezal, sin que por ello se haya disminuido la precisión de la medida.

Además, es interesante la disposición de las varillas de medición en una o dos filas de tres piezas cada una, pero que no se hallan uniformemente repartidas en la periferia del cabezal. La tripolaridad proporciona la cualidad muy importante del centrado automático del aparato y posibilita el manejo de este con una sola mano. La separación irregular de las varillas de medición permite medir cualquier falta de redondez, mientras que el aparato bipolar no permite, por ejemplo detectar la forma triangular de un agujero y el aparato tripolar con separación regular, tampoco permite detectar ovalamiento.

En este punto conviene hacer una digresión sobre las ventajas del empleo, en algunos casos, de aparatos de medición con escala, con respecto a la utilización de calibres fijos de tolerancia (pasa-no pasa), por ejemplo.

Con los calibres macho de tolerancia es imposible realizar durante el torneado, alesado, escariado o rectificado, ninguna medición del agujero o del exceso de material a remover. Mas bien puede procederse al arranque de viruta delgada y comprobar después cada vez, si el lado “pasa” del calibre puede introducirse.

El espesor de la “pasada” cuando se está cerca de la medida final, se halla en relación directa con la tolerancia del agujero. Dicho espesor debe ser siempre un 20 % menor que la tolerancia. Si por ejemplo debe tornearse o alesarse un agujero de 20 mm. con una tolerancia de 60.01, el arranque de viruta debe ser de 0,008 mm. en el diámetro, o sea, un espesor de 0,004 mm. Si se arrancara una viruta de mayor grosor no sólo habría peligro sino la seguridad de tener un desecho.

Un ejemplo explicará lo que precede: supongamos que después de distintas fases de mecanizado, el agujero ha alcanzado la medida 19,998 mm. Esta medida es, no obstante, desconocida en la realidad puesto que el operario sólo constata que el calibre fijo todavía no se puede introducir, es decir, que el agujero es aún demasiado pequeño. Procede entonces a dar una nueva pasada de 0,008 mm. en el diámetro. La verificación siguiente indicará que el lado “pasa” del calibre puede introducirse, mientras que el lado “no pasa” no se puede introducir. El agujero presenta pues la medida real de 20,006 mm. En este caso, la tolerancia se ha absorbido en un 60 %; pero si se hubiera efectuado una pasada de 0,013m, es decir con una viruta de mayor grosor que la tolerancia del calibre, la medida de acabado del agujero será de 20,011, y por consiguiente la pieza sería descartada.

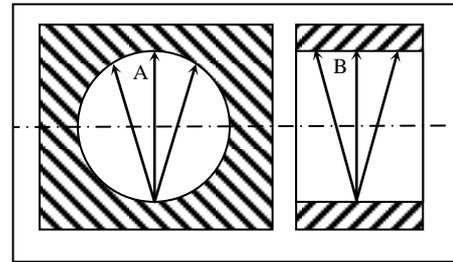


Figura 25

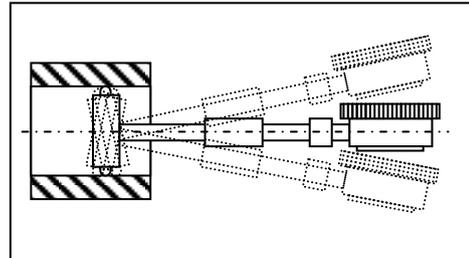


Figura 26

Para eliminar la última décima de milímetro, fueron necesarias, en total 12 pasadas y por consiguiente, también las correspondientes 12 mediciones.

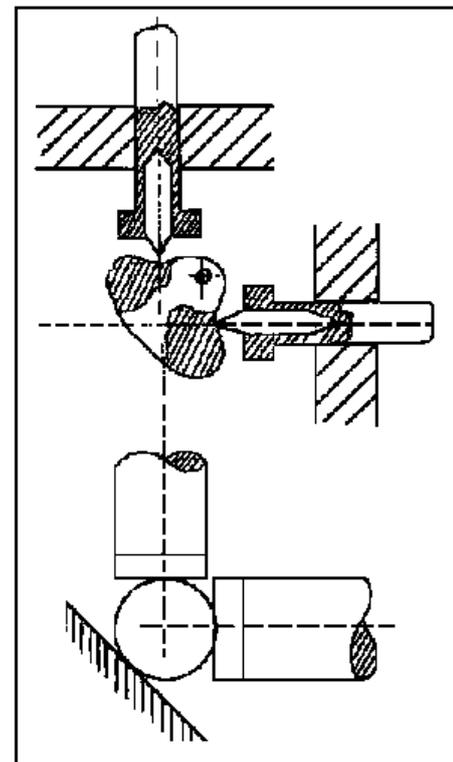
Pero si se hubiera conocido la medida real del agujero, se habría podido eliminar todo el exceso en dos o tres pasadas. Así, por ejemplo, en la primera se hubiese agrandado el agujero de 19,900 a 19,980 mm; en la segunda a 19,995 y en la tercera y última a 20,002 mm. Con ello, sólo se utilizaría en un 20 % la tolerancia prescrita y el tiempo de mecanizado se reduciría a la cuarta parte.

En la práctica, el calibre fijo, por lo que acabamos de ver, debe ser complementado con el uso del micrómetro o del pie de rey según la tolerancia.

Alesámetro

Permite medir agujeros con comparador a palanca y dispositivo autocentrante.

Mientras que en la fabricación de piezas sueltas o en reparaciones aisladas no pueden dejar de tenerse en cuenta los micrómetros de interiores, para la fabricación en masa (y aún para la de piezas sueltas) se ha desarrollado un sustituto que elimina la dificultad con que los micrómetros se ajustan al diámetro del agujero, lo que presupone tiempo y no poca habilidad.



Figuras 27 y 28

La dificultad señalada consiste en que a un mismo tiempo debe obtenerse la medida máxima “A” transversal al eje, y la medida mínima “B” a lo largo del mismo, figura 25.

Fácil es imaginar la larga práctica que requiere el operador para llegar a vencer la dificultad que entraña cumplir simultáneamente con esas dos condiciones contradictorias. Diremos que, como consecuencia, nunca llega a vencerla totalmente y de ese modo la medición micrométrica de diámetros interiores es siempre menos precisa que la de diámetros exteriores.

El alesámetro viene provisto de un dispositivo autocentrante que consiste en dos apoyos solidarios, equidistantes del palpador e independientes del mismo, que se mueven contra la acción de un resorte. El dispositivo autocentrante lleva automáticamente al palpador a la posición “A”, debiendo el operador ejecutar un movimiento oscilante en el plano que contiene el palpador y el eje del agujero para obtener la posición “B” que corresponde a la indicación mínima de la aguja del comparador, figura 26.

La transmisión del movimiento en ángulo recto desde el palpador del alesámetro al palpador del comparador se hace en alguna de las formas indicadas en las figuras 27 (Sistema Mahr) y 28.

El aparato de centrado automático (alesámetro) resulta especialmente indicado para la verificación de cilindros de motores, bombas, alojamientos de cojinetes, bujes y agujeros de toda clase a partir de un cierto diámetro. Igualmente, pueden medirse con facilidad agujeros situados uno a continuación de otro sobre el mismo eje, ya sea de igual o distinto diámetro.

Para poder ajustar con seguridad el alesámetro al diámetro deseado, se emplea un soporte de bloques patrón entre mordazas, como indica la figura 29, o también sobre un micrómetro para exteriores.

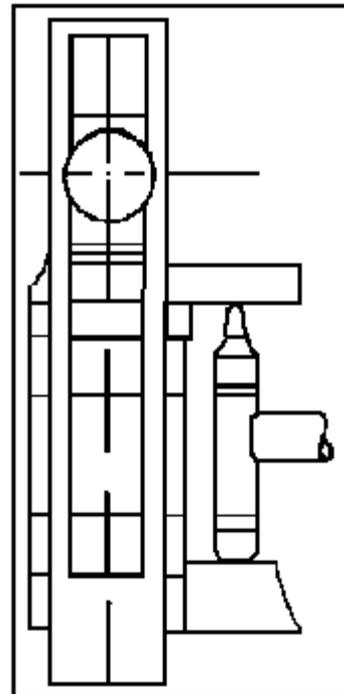


Figura 29

Medición de salto radial y axial en ejes

El salto radial es la desviación medida a lo largo de su periferia de una superficie teórica circular con respecto a su eje durante el giro. Podría decirse también que el salto radial de un determinado sector de una pieza de revolución dada, es la discrepancia entre el eje de rotación de la pieza y el eje geométrico del sector.

El salto axial es la desviación de una superficie que debiera ser normal al eje de rotación, respecto a la superficie normal a dicho eje.

Para medir el salto radial debe hacerse girar la pieza alrededor de su eje. En general, se toman los agujeros de centrado como centros de giro.

Esto es válido siempre y cuando la pieza gire realmente alrededor de los puntos de centrado. También puede girarse sobre apoyos en V y entonces el eje de giro coincidiría con el de la pieza (figura 30).

En la figura 30 se ve la comprobación del salto radial y axial sobre puntos de centrado y sobre apoyos en V. En ejes lisos sin resaltes no existe ningún salto periférico sino más bien una falta de alineación y ovalamiento.

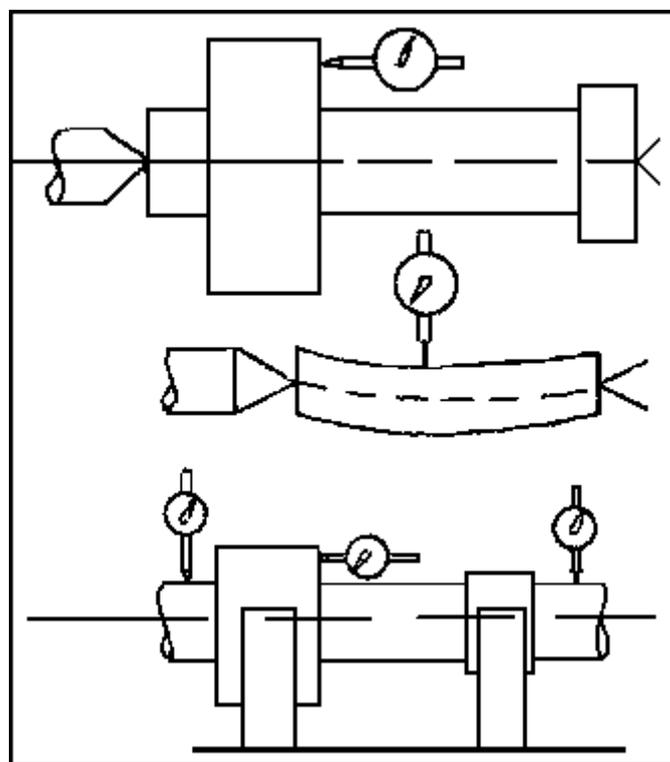


Figura 30

Naturalmente, al medir ejes con resaltes (figura 30) reaparece el defecto de circularidad de los que descansan sobre los apoyos en V en los resultados de la medición del resto de los resaltes. Como el ovalamiento puede ser, no obstante, notablemente menor que el salto, es más conveniente medir el salto sobre apoyos en V y descartar en lo posible los puntos de centrado como elementos auxiliares de la medición.

En todas las mediciones de saltos, se mide por consiguiente a la vez la falta de circularidad, independientemente de si se realiza entre puntos o sobre apoyos en V.

Se podrían tener en cuenta dichos defectos midiendo y marcando previamente la pieza en los puntos medidos. Más ventajoso resulta, no obstante, la medición del salto y lo mismo ocurre al medir excentricidades, independientemente de si se efectúa entre puntos, al aire o sobre apoyos. Solo por este procedimiento pueden descartarse los errores de medición debidos al ovalamiento. En este caso, el salto se pone de manifiesto siempre por una oscilación uniforme de la aguja hacia el más o el menos.

Pero si se está obligado a apoyar la pieza entre puntos para medir el salto, entonces se debe medir previamente el salto o la excentricidad del punto giratorio, usando un eje especialmente provisto de agujeros de centrado rectificados, que se coloca entre los puntos pero no gira con ellos.

En primer lugar, se hacen girar los puntos determinando las diferencias de éstos últimos con respecto a los agujeros de centrado del eje de comparación. Luego se hacen girar los puntos dentro de los agujeros de la pieza en cuestión.

La diferencia medida involucrará el error de los puntos. Haciéndose el descuento correspondiente, se tendrá el error de los agujeros de centrado de la pieza.

Al girar los puntos, las faltas de redondez de la pieza que han sido producidas en parte por el rectificado o por el desgaste, no quedan medidas y se determina así sin lugar a dudas si lo que hay que rectificar es el cono del agujero del punto de centrado o bien el punto propiamente dicho.

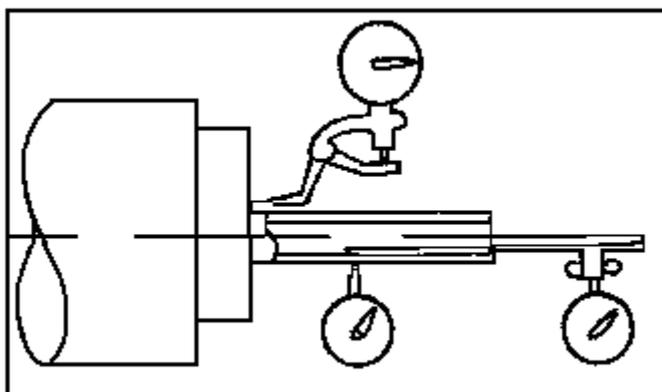


Figura 31

La figura 31 muestra tres ejemplos prácticos de medición del salto en una pieza torneada exterior e interiormente con la ayuda de comparadores de palanca acodada y de palanca recta.

Medición de redondez por relevamiento completo del contorno

Existen dos problemas fundamentales:

- Dónde encontrar el cilindro o esfera perfectos para comparar la superficie terminada.
- Qué métodos o aparatos se deben utilizar en la determinación o medición de la “infinita variedad de errores de la forma circular que pueden ocurrir”.

Las respuestas se han encontrado con la medición radial de alta precisión y la interpretación analítica electrónica. Uno de los fabricantes de cojinetes de bolas más grandes del mundo indica en sus catálogos medidas básicas del 1/16” a 13/16”, con medidas disponibles en saltos de apenas 0,000005” y la esfericidad del ovalamiento se mantiene a 5 millonésimas de pulgada, con variaciones de diámetro, entre piezas de una misma partida de una cienmilésima de pulgada (0,00001”).

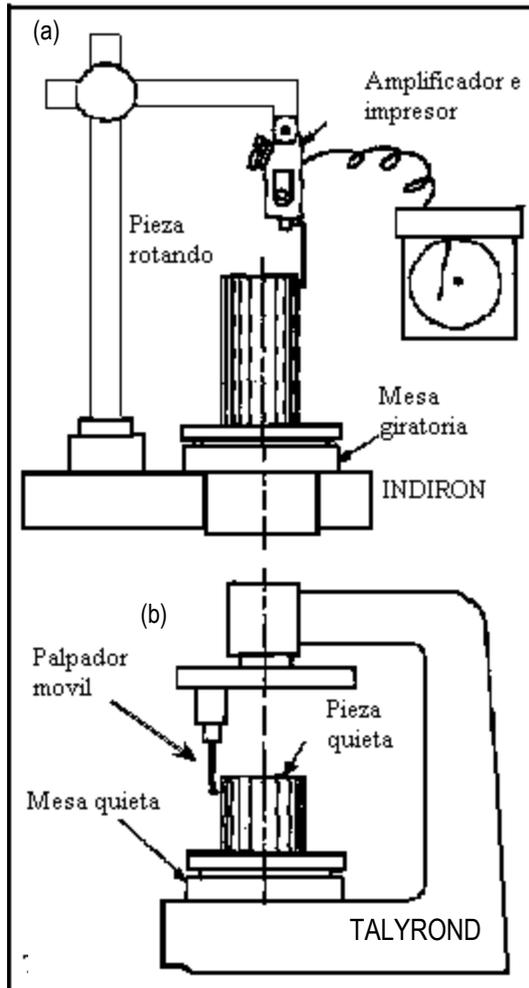


Figura 32

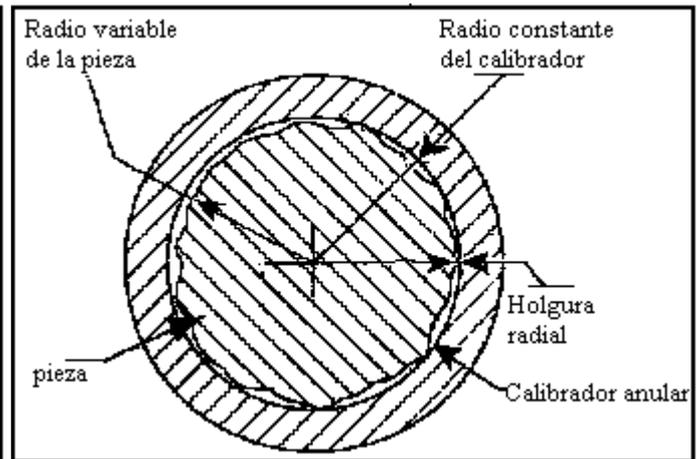


Figura 33

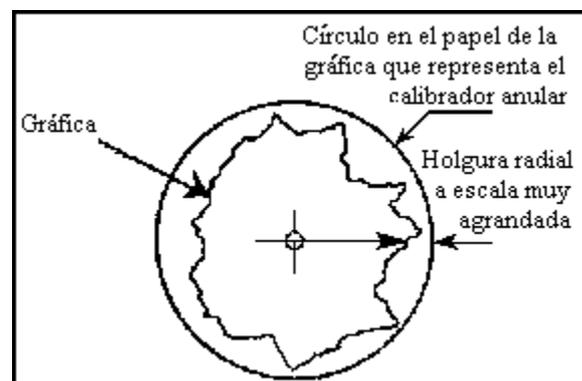


Figura 34

El catálogo dice: “La Talyrond (máquina de alta precisión) sigue las características geométricas de la superficie de una bola y mide y registra cualquier desviación de la redondez perfecta con amplificaciones hasta de 10.000 veces. Produce gráficas de la esfericidad de la bola y del acabado de superficie, que se pueden leer con aproximación de tres millonésimas de pulgada.”

La máquina Talyrond para comprobar la redondez (figura 32 b) tiene un husillo que gira con una concentricidad con tolerancia de tres millonésimas y sobre el cual puede girarse un estilete palpador en torno a la pieza fija que se mide. Se utiliza un amplificador electrónico para los impulsos del estilete para producir gráficas, que muestran los defectos de forma para su análisis, para la aceptación o el rechazo de la pieza o para modificar los métodos de producción a fin de reducirlos.

El palpador va sujeto a una cabeza calibradora electrónica conectada mediante un amplificador a un medidor indicador y a un registrador que produce una gráfica, la cual se conecta con el husillo para girar a la misma velocidad y la plumilla está colocada para moverse sobre la gráfica en sentido radial.

La gráfica producida muestra en forma geométrica, a una escala muy ampliada, las variaciones en el radio de una sección transversal de la pieza que se mide, desde el punto en que el eje del husillo se cruza con la sección transversal.

Hay otras formas de visualizar esa acción. Supóngase, por ejemplo, un calibrador anular con una exactitud de tres millonésimas de pulgada, colocado de tal modo y con diámetro que apenas circunde la pieza sin tocarla, como se ilustra en la figura 33.

Entonces, se puede considerar que la gráfica Talyrond muestra las variaciones en la holgura entre el calibrador y la pieza, trazadas a una escala radial muy aumentada (figura 34).

El diámetro real del calibrador anular imaginario o del círculo seleccionado para representarlo en la gráfica no importa, porque sólo se tienen en cuenta los cambios en la tolerancia u holgura. En el caso de un agujero, se podría visualizar que un calibrador macho constituye el círculo base desde el cual se hacen las mediciones.

La gráfica no indica la forma real de la pieza sino sólo las desviaciones en la redondez y a una escala muy magnificada.

Las ordenadas radiales se imprimen en la gráfica y las divisiones de 1/10 de pulgada a lo largo de ellas darán una escala radial conveniente.

A fin de tener en cuenta ligeras imperfecciones en el centrado, las ordenadas circulares se imprimen en una hoja transparente separada debajo de la cual puede moverse la gráfica hasta obtener el “ajuste óptimo”.

Interpretación de gráficas de redondez.

Las gráficas en forma más o menos de estrella que se producen se deben a que las gráficas no son la forma real de la pieza. La línea de desviación de la redondez auténtica trazada a una amplificación muy grande, sigue un círculo que no está a escala en proporción.

En la figura 35, la línea discontinua es el verdadero círculo; dentro del círculo hay una cifra que representa una pieza ligeramente aplanada en seis lados en una cantidad “x”. En las ilustraciones sucesivas, las desviaciones de la redondez se incrementan con un factor de 2, luego de 4, y después de 8. Por tanto, cuando examinamos las gráficas de las piezas con lecturas tomadas con 2000 o 10000 aumentos, debemos recordar la forma y proporciones de la pieza en el diseño original para ver lo que en realidad significa la gráfica.

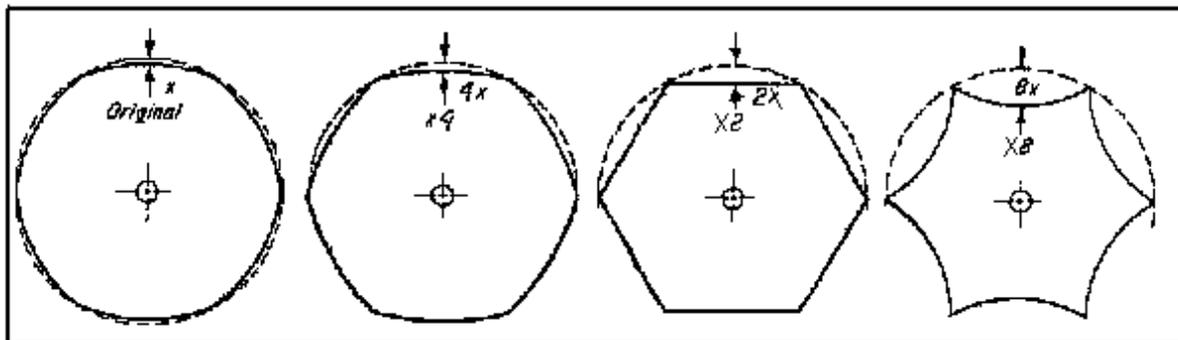


Figura 35

Definiciones para nuevas necesidades.

En la actualidad se fabrica instrumentación que puede dar un análisis completo, directo, y permanente de todas las desviaciones de la auténtica redondez en piezas cilíndricas, esféricas o cónicas, tanto en la inspección como para el análisis del proceso de manufactura, lo que da lugar a nuevas definiciones de redondez.

Una definición tentativa, específica que: "La desviación de la circularidad es la diferencia en los radios de dos círculos concéntricos coplanares y el espacio anular entre los cuales contiene justo el perfil de la superficie".

Ese radio y no el diámetro, debe ser la base para las mediciones de redondez y ha quedado claro conforme hay métodos disponibles que hacen obsoletos los métodos para la localización de la circunferencia, como los bloques V con comparador y a su carencia de determinación precisa de la excentricidad o lóbulos, tan comunes en las piezas producidas en serie. Este concepto aclara la especificación y ofrece registros repetibles y permanentes que se pueden emplear para volver a pensar y mejorar tanto el diseño como los métodos de manufactura del producto en interés de mayor calidad y menores costos.

Otros calibradores radiales para la medición de redondez.

El aparato ya descrito en la figura 22 (anillo ranurado ajustable), es un buen método para la verificación de tipo radial para muchas piezas y tolerancias, aunque debe construirse uno para cada diámetro. La industria exige creciente precisión en este tipo de instrumentos y como resultado de ello se han creado varios tipos nuevos. El sistema Talyrond ya visto es uno de ellos. El indicador rotatorio de Cleveland Ex-Ac también está destinado a este tipo de medición; cuando se emplea en equipo con husillos de ultraprecisión, como la máquina medidora Moore universal, se pueden lograr mediciones con aproximaciones de unas pocas millonésimas de pulgada. Además, es fácil medir condiciones como abocardado, conicidad, inclinación y concentricidad. En el instrumento Indi-Ron Cleveland (Fig. 32) diseñado para mediciones de ultraprecisión de ovalación, concentricidad, y escuadramiento, se utiliza un sistema diferente. En este instrumento se gira la pieza y la cabeza calibradora permanece estacionaria. En la figura 36 se ilustra el uso de cabezas calibradoras múltiples en este aparato.

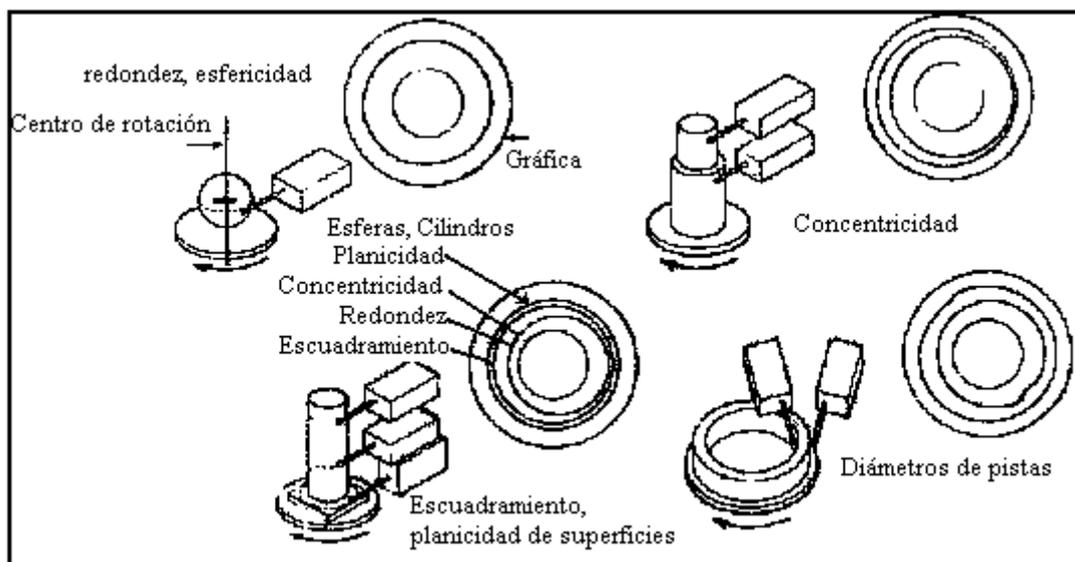


Figura 36

En la figura 37 (izq.) se muestran gráficos típicos de pistas de cojinetes de bolas del instrumento Indi-Ron, y en la figura 37(der.) la concentricidad de los conos superior e inferior con el DE.

El eje de la pieza se alinea exactamente con el del husillo de ultraprecisión en el cual se sujeta la pieza con una mesa centradora inclinable de cuatro puntos. Debido a que la cabeza calibradora ahora sólo sirve para medir desviaciones, se puede mover con facilidad de punto a punto, sin perder exactitud ni el eje de referencia. Como resultado, es posible hacer las siguientes mediciones con una exactitud de 3 millonésimas o menos en pocos minutos:

Redondez: Cualquier diámetro interior o exterior.

Concentricidad: Cualquier DI o DE con cualquier otro DI, DE o eje.

Alineación: Cualquier eje con otro eje.

Planedad: De cualquier cara.

Escuadramiento: Cualquier cara con cualquier eje.

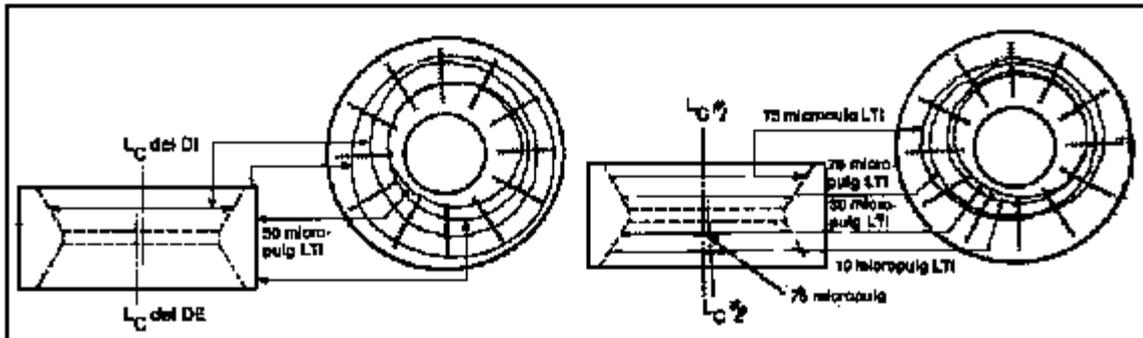


Figura 37

Para quien no está familiarizado con la interpretación de las gráficas, hay que explicar que se coloca una placa transparente con cierto número de círculos concéntricos calibrados sobre la gráfica. De esta forma se miden con facilidad las desviaciones de la redondez y los centros de las circunferencias trazadas en la gráfica. La interpretación de estas gráficas incluye sólo el cambio en el radio de la circunferencia trazada y la ubicación del centro del trazado.

El Indi-Ron permite la identificación rápida de la magnitud y tipo de cualquier error de redondez o concentricidad, para poder ajustar la máquina que produce esas piezas y corregir el error. En muchos casos es igual de fácil producir piezas buenas o rechazadas con sólo saber la forma de ajustar la máquina con el uso de las gráficas del Indi-Ron como guía. Solo se requiere un ambiente de medición sin corriente de aire y con variaciones de temperatura menores de 3°C por hora.

También, como resultado de este tipo de verificación, muchas empresas han encontrado que el ruido, vibración, fallas, etc. que trataban de subsanar mejorando el acabado superficial o empleando máquinas más perfeccionadas y otras soluciones, se debían en realidad a falta de circularidad que no se podía detectar con bloques en V, pruebas diametrales u otros métodos para su medición.

Medición de defectos en piezas torneadas entre puntos.

Se puede verificar la precisión y forma de superficies cilíndricas de revolución, comprobando:

- La circularidad o uniformidad de diámetro.
- La excentricidad o coaxialidad entre el eje de rotación y el de la superficie cilíndrica.
- La cilindricidad o paralelismo entre las generatrices y el eje del cilindro.

Circularidad y coaxialidad

Se monta la pieza entre las puntas de un aparato de comprobación y se procede de la siguiente manera (figura 38):

- Se sitúa un comparador sobre el plano del aparato de forma que su palpador esté en contacto con la superficie de la pieza.
- Se gira lentamente la pieza observando el comparador: Las desviaciones del índice nos darán el error de circularidad.

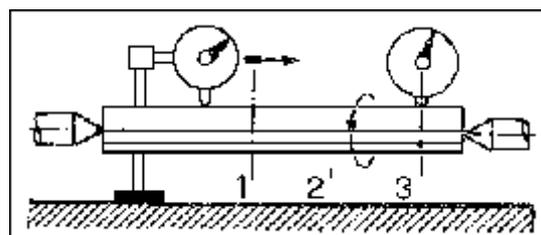


Figura 38

Si el índice no se mueve durante la rotación de la pieza, es que no existe error de circularidad de la sección transversal ni error de excentricidad del eje del cilindro respecto al eje de las puntas.

La operación se repite en distintas posiciones a lo largo, convenientemente distanciadas.

Se toma como error de circularidad el valor máximo de las desviaciones halladas (variación de radio).

Cilindricidad

Se utiliza el mismo equipo descrito en el caso precedente (sin girar el cilindro) procediendo como sigue (figura 38):

- Se pone la punta del palpador en contacto con la generatriz superior del cilindro (en realidad se encuentra con desplazamientos transversales).
- Se hace correr el comparador sobre el plano de apoyo de forma que el palpador se deslice a lo largo de la generatriz superior del cilindro (por ser esto muy difícil, se prefiere palpar con desplazamientos transversales): las desviaciones del índice señalan el error de paralelismo entre tal generatriz y el eje del cilindro, es decir, en el error de cilindrado queda comprendido también el error de rectitud de la generatriz controlada.

Debe realizarse la operación en cuatro posiciones del cilindro giradas entre sí 90°. Se toma como error de cilindrado el valor máximo de las desviaciones halladas en las cuatro posiciones.

Pieza torneada en voladizo

Si la pieza carece de centros, como sucede en las torneadas en voladizo, es necesario operar como se indica en la figura 39 fijando un extremo de la pieza en un mandril de alta exactitud geométrica. Las comprobaciones se realizan de la forma señalada anteriormente.

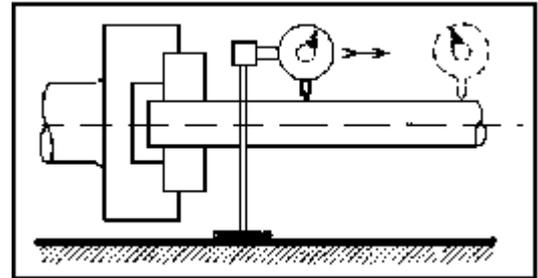


Figura 39

Bibliografía

- Norma IRAM 4515, “Dibujo Técnico, Tolerancias geométricas”.
- D. Lucchesi, “Metrotecnica, tolerancias e instrumentación”, Editorial Labor.
- D. Lucchesi, “Verificación de piezas y máquinas-herramientas”, Editorial Labor.
- J. A. Rodríguez, “Metrología”, CETILP.
- American Machinist Magazine, “Maquinas y Herramientas para la Industria Metalmeccánica”.
- Francis T. Farago, “Handbook of Dimensional Measurement”, Industrial Press Inc.
- Folleto Talyrond 250. “Stability and accuracy in Form Measurement”. Rank Taylor Hobson.