

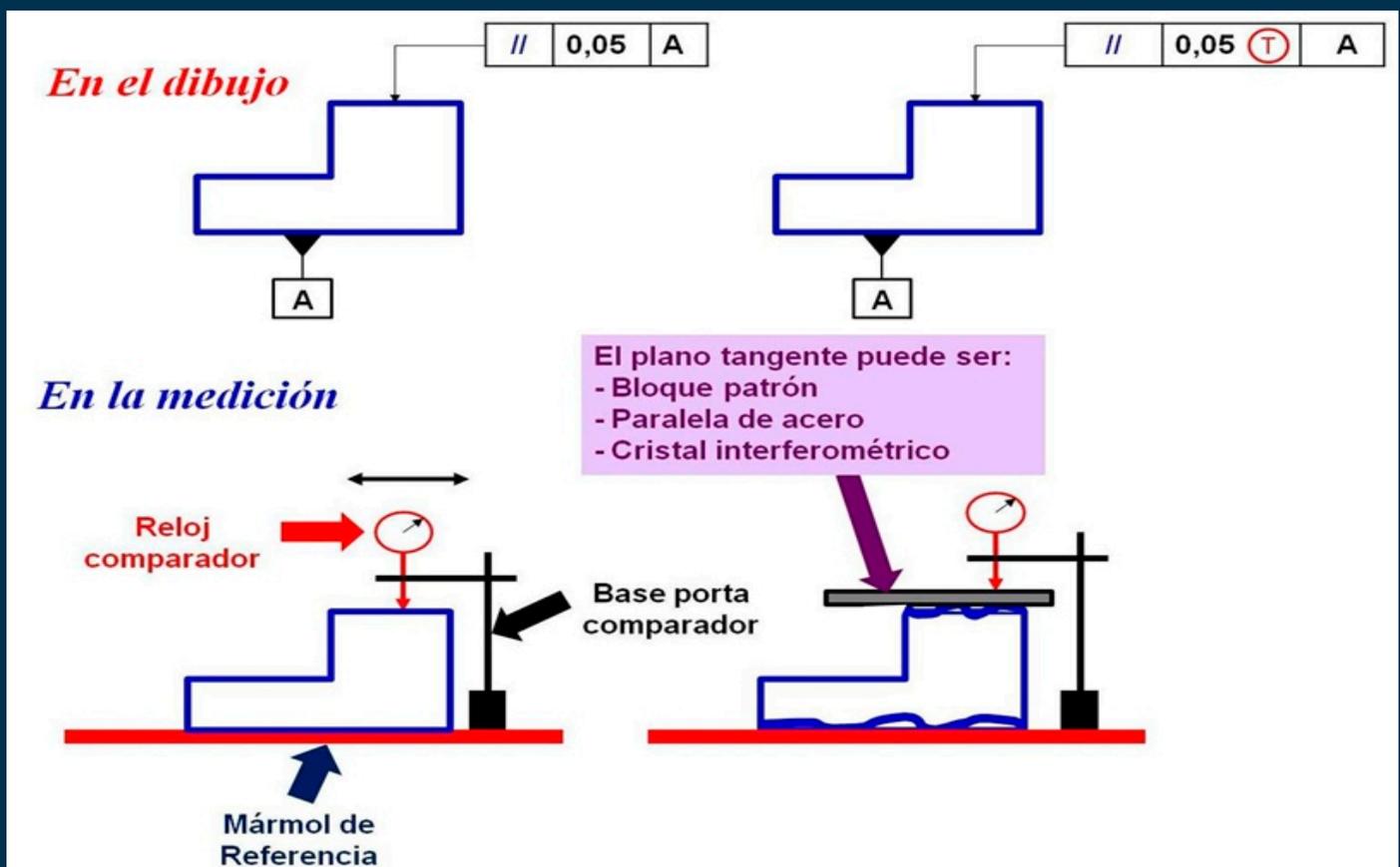
# TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS

# GD&T

GEOMETRIC DIMENSIONING AND TOLERANCING

Basado en ASMEY 14.5 – 2018

Incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional



Ing. Marcelo Iglesias

Tomo 2

# **TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS GD&T**

**GEOMETRIC DIMENSIONING AND TOLERANCING**

**Basado en**

**ASME Y 14.5 – 2018**

*Incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional*

**TOMO 2**

**Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina**

Rector: Ing. Rubén Soro

Vicerrector: Ing. Haroldo Avetta

Secretario de Cultura Y Extensión Universitaria: Ing. Federico Olivo Aneiros

**edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional**

Coordinador General a cargo: Fernando Cejas

Dirección General: Mg. Claudio Véliz

Dirección de Cultura y Comunicación: Ing. Pablo Lassave

Edición, corrección de estilo, diseño interior y tapas: Patricia Cejas

patsyvirg@gmail.com



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.



# **TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS GD&T**

**GEOMETRIC DIMENSIONING AND TOLERANCING**

**Basado en**

**ASME Y 14.5 – 2018**

*Incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional*

**Ing. Marcelo Iglesias**

**TOMO 2**

Iglesias, Marcelo Javier

Tolerancias Geométricas GD&T Geometric Dimensioning and Tolerancing basado en ASME y 14.5?2018, incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional : tomo 2 / Marcelo Javier Iglesias ; editado por Fernando Cejas. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2022.

398 p. ; 30 x 21 cm.

ISBN 978-987-4998-85-9

1. Ingeniería Mecánica. 2. Ingeniería Industrial. 3. Mediciones. I. Cejas, Fernando, ed. II.

Título.

CDD 620.102

Corrección de estilo, diseño interior y tapas: Patricia Cejas - patsyvirg@gmail.com

Publicado en Argentina – Published in Argentina  
Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723  
© edUTecNe, 2021  
Sarmiento 440, Piso 6  
(C1041AAJ) Buenos Aires, República Argentina

## ÍNDICE

### **CAPÍTULO 4**

<b>Errores geométricos</b>	<b>3</b>
<i>4.1 Tipos de errores geométricos</i>	<i>3</i>
<i>4.2 Interpretación y forma de acotación</i>	<i>11</i>
<i>4.2.1 Tolerancias de forma</i>	<i>11</i>
<i>4.2.2 Tolerancias de orientación</i>	<i>46</i>
<i>4.2.3 Tolerancia de localización</i>	<i>68</i>
<i>4.2.4 Tolerancia de cabeceo u oscilación</i>	<i>132</i>
<i>4.2.5 Modificadores</i>	<i>141</i>
<i>4.2.6 Comparación entre ASME Y 14.5-2018 e ISO 1101:2017</i>	<i>153</i>

### **CAPÍTULO 5**

<b>Medición de errores geométricos</b>	<b>157</b>
<i>5.1 Selección de los instrumentos y equipos necesarios</i>	<i>157</i>
<i>5.2 Distintas técnicas de medición de los errores geométricos</i>	<i>190</i>
5.2.1 Estructura de la Documentación	191
5.2.2 Técnicas de medición de los errores geométricos	201
5.2.3 Elementos auxiliares y de fijación	342
5.2.4 Control por atributos	349
5.2.5 Diversas aplicaciones de las técnicas de medición	352
<i>5.3 Certificación de GD&amp;T</i>	<i>375</i>
<b>Ejercicios y preguntas</b>	<b>377</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>389</b>

# ERRORES GEOMÉTRICOS

## 4.1 Tipos de errores geométricos

Los tipos de errores geométricos fueron tratados parcialmente en el capítulo 3 en su sección 3.2 Concepto de GD& T y, específicamente, en el párrafo 3.2.1 GD&T y tolerancia geométrica, donde se estudiaron algunos de los principales.

En este capítulo se hará un breve repaso de los mismos y se aportarán algunos comentarios nuevos.

Los errores geométricos son aquellos que afectan a la geometría, contornos y relaciones geométricas de las piezas.

Las tolerancias geométricas son las que regulan o acotan el efecto de los errores geométricos, y se los puede clasificar como:

- Errores de forma
- Errores de orientación
- Errores de localización
- Errores de oscilación o cabeceo

Como se puede inferir de lo anterior, la forma de clasificarlos es la misma que la de las tolerancias geométricas. Existen entonces errores de rectitud, planicidad, circularidad, cilindricidad, perfil de una línea, perfil de una superficie, paralelismo, perpendicularidad, inclinación o angularidad, posición verdadera, coaxialidad, concetricidad, simetría, cabeceo o runout, parcial o total.

Como se explicó en capítulo 3, las tolerancias geométricas son especificadas por el diseñador para acotar la influencia de los errores macro geométricos o también llamados errores geométricos principalmente y tradicionalmente.

Las tolerancias geométricas se especifican para todas aquellas piezas que han de cumplir funciones importantes en un conjunto, de las que depende la confiabilidad del producto. Estas tolerancias pueden controlar formas individuales o definir relaciones entre distintas formas.

Es imposible el acoplamiento entre dos piezas si las tolerancias dimensionales no van acompañadas de las tolerancias geométricas. Éstas se definen como los errores máximos permitidos o admisibles.

No es viable ensamblar un eje en un agujero a pesar de que estos posean las dimensiones adecuadas pero contengan errores de rectitud, excentricidad y perpendicularidad, como los mostrados en la Fig. 4.1.

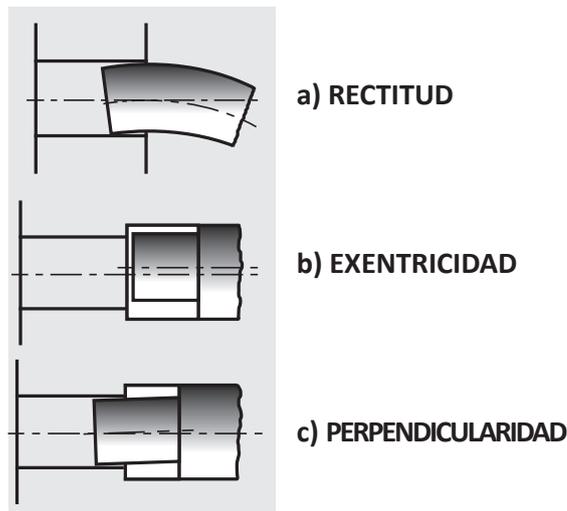


Fig. 4.1 - Rectitud, excentricidad y perpendicularidad

Durante la fabricación de las piezas mediante las máquinas-herramientas se producen distintos tipos de errores. Esto condujo a clasificar las tolerancias geométricas para aceptar o rechazar las piezas.

La forma circular de una sección puede presentar el defecto denominado ovalización, consistente en una variación del valor de los distintos diámetros. Un caso particular es el de triangulación, la forma de triángulo curvilíneo expuesta en la Fig. 4.2. La triangulación se genera en algunos casos de rectificadas sin centros, de forma que los diámetros tienen el mismo valor, pero no los radios.

Otro defecto que puede presentarse en superficies cilíndricas es la falta de constancia en el diámetro de las distintas secciones, conocido con el nombre de conicidad.

También puede aparecer una falta de rectitud de las generatrices por flexado o doblado de una pieza cilíndrica.

La Fig. 4.2 muestra los errores de circularidad, pudiendo ser de ovalización o triangulación, el de falta de cilindridad, también llamado conicidad y de rectitud.

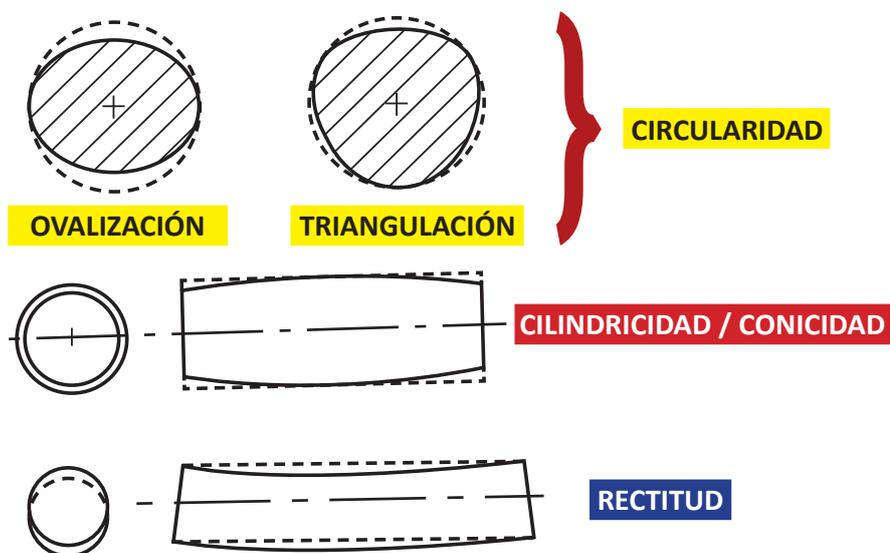


Fig. 4.2 - Errores geométricos de circularidad, cilindridad y rectitud

Una falta de rectitud de las generatrices (Fig. 4.2) puede provenir de un defecto de rectitud de las guías de la herramienta de mecanizado; en este caso los diámetros de las diversas secciones son desiguales y la verificación entre puntos revela este defecto, mientras que la medición de los diámetros da una indicación doble.

Cuando una pieza se encuentra provista de centros que determinan su eje puede presentarse el defecto de excentricidad, consistente en una falta de coincidencia entre el eje de los centros y el eje geométrico de la superficie, como se expone en el esquema de la Fig. 4.3. Este mismo defecto se puede presentar en las piezas con partes cilíndricas de distintos diámetros alineadas, que teóricamente tuviesen que tener el mismo eje geométrico como se muestra en la misma figura.

Del error de excentricidad surgen dos posibilidades: la primera es la falta de coincidencia entre centros, llamada concetricidad y la segunda es el error geométrico de coaxialidad, el cual implica una falta de alineación entre ejes.

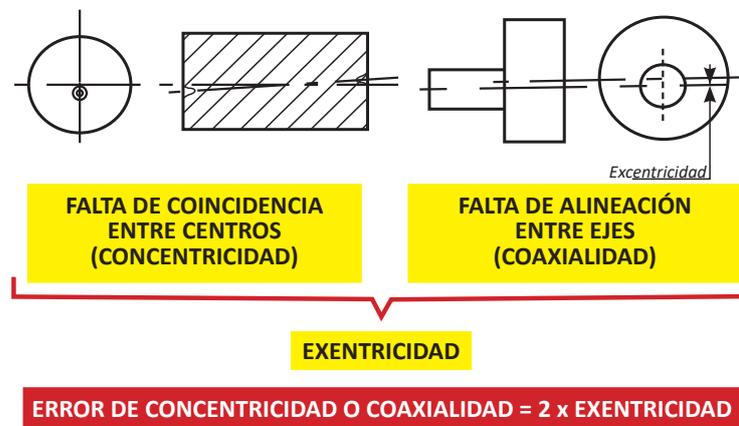


Fig. 4.3 - Excentricidad

Una pieza puede ser perfectamente cilíndrica pero excéntrica respecto al eje de los centros. Es lo que ocurre en el trabajo con el torno (Fig. 4.3).

La ovalización es sinónimo de falsa redondez. No hay que confundirla con excentricidad.

La Fig. 4.4 muestra los errores de planicidad (también llamado planitud) y el de perpendicularidad.

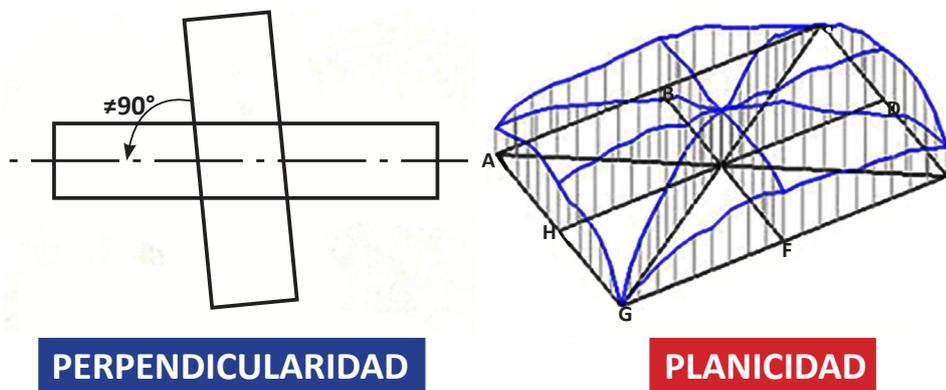


Fig. 4.4 - Perpendicularidad y planicidad

Los defectos de perpendicularidad pueden, por ejemplo, provenir de un defecto de homogeneidad en el material, que produce una flexión de la herramienta al cortar una zona determinada. Más corrientemente la falta de perpendicularidad es debida a un defecto de la máquina (alabeo del tope del husillo en el caso de un torno, por ejemplo).

La medición del diámetro de una superficie cilíndrica perfecta es un caso simple de medición, pero en la práctica aparecen dificultades debido a la falta de cilindridad de las piezas, como ya se expresó en el capítulo 3.

A continuación, tomando como ejemplo el control de una pieza cilíndrica, se mostrará la influencia del mecanizado en los errores geométricos más precisamente en los de forma.

Los errores de forma más habituales que puede presentar una pieza cilíndrica, ya sea un eje o un agujero, se clasifican de la siguiente manera:

- Variación del diámetro a lo largo del eje.
- Falta de rectitud en el eje.
- Falta de circularidad de la sección transversal.

El error de cilindridad consiste, como se indicó en el capítulo 3, en la variación del diámetro a lo largo del eje. En la Fig. 4.5 se exponen los mismos junto a la forma ideal que figura en el plano de ingeniería.

**DIÁMETROS EXTERIORES**

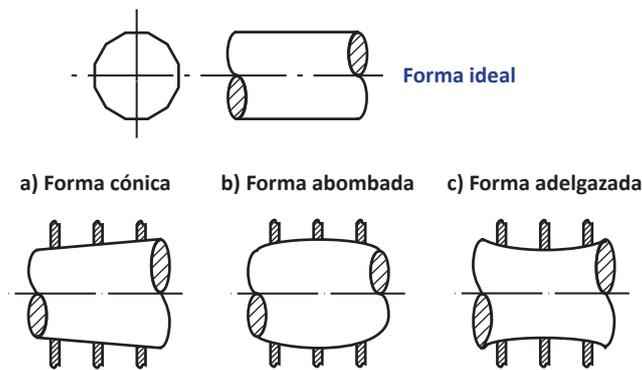


Fig. 4.5 - Error de cilindridad en diámetros exteriores

Para el caso de diámetros interiores sucede exactamente lo mismo (Fig. 4.6).

**DIÁMETROS INTERIORES**

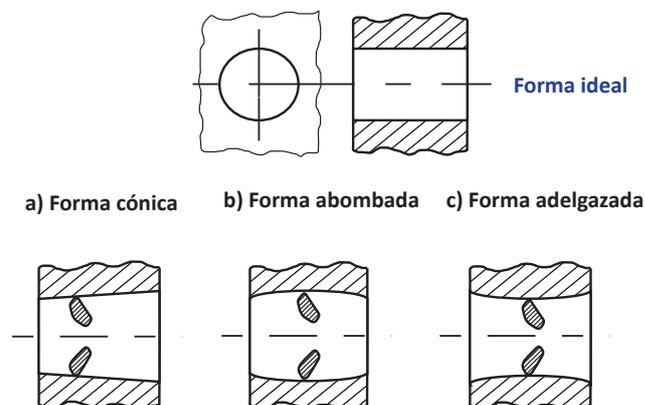


Fig. 4.6 - Error de cilindridad en diámetros interiores

En el capítulo 3 se manifestó que, para controlar este tipo de defectos, era necesario verificar la pieza en varias secciones utilizando instrumentos con palpadores para asegurar que todos sus puntos se encuentran en tolerancia.

Respecto a la falta de rectitud se indicó que pueden existir dos casos, tanto para ejes como para agujeros: curvado y ondulado.

Para el caso de ejes se puede apreciar en la Fig. 4.7 lo comentado anteriormente.

### FALTA DE RECTITUD EN EJES

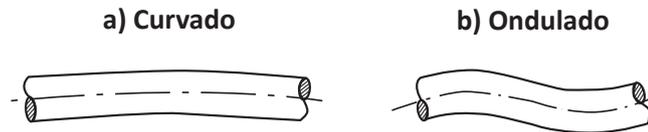


Fig. 4.7 - Error de rectitud en ejes

Para agujeros es exactamente lo mismo, como se puede observar en la Fig. 4.8.

### FALTA DE RECTITUD EN AGUJEROS

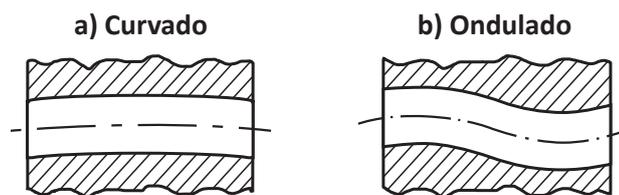


Fig. 4.8 - Error de rectitud en agujeros

Se señaló en el capítulo 3 que los motivos de la falta de circularidad de una sección transversal se podían producir por los motivos que se exponen en las Figs. 4.9 y 4.10.

Para el caso de diámetros exteriores, los motivos son los indicados en la Fig. 4.9.

### FALTA DE CIRCULARIDAD EN DIÁMETROS EXTERIORES

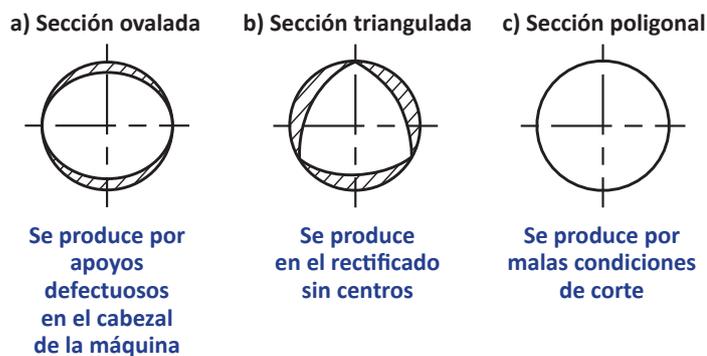


Fig. 4.9 - Falta de circularidad en diámetros externos

La falta de circularidad en los diámetros interiores se produce por los motivos expuestos en la Fig. 4.10.

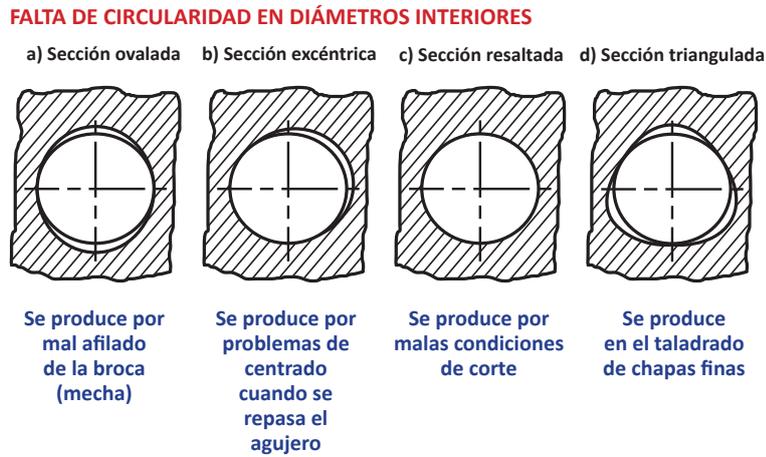


Fig. 4.10 - Falta de circularidad en diámetros internos

En relación a la falta de circularidad existen cuatro posibilidades:

- Forma de igual espesor
- Forma de igual ancho
- Falta de redondez regular
- Falta de redondez irregular

La Fig. 4.11 muestra una forma de igual espesor para el caso de diámetros externos, o sea ejes.

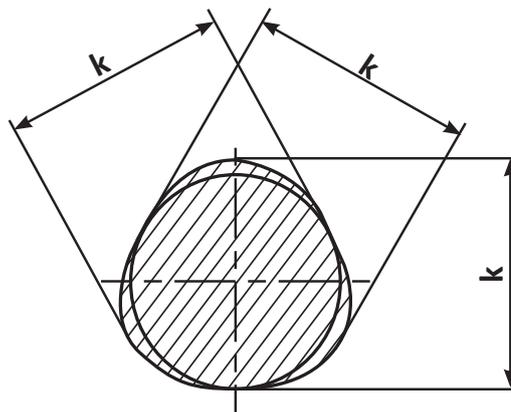


Fig. 4.11 - Forma de igual espesor

Si se va a verificar o controlar metrológicamente una pieza fabricada sin centros, la medición de los distintos diámetros no basta para descubrir la falta de redondez. La Fig. 4.12 representa en efecto un tipo de sección triangular curvilínea susceptible de encontrarse en el rectificado sin centros. Allí se expone una falta de circularidad correspondiente a una forma de igual ancho para el caso de diámetros interiores, es decir agujeros.

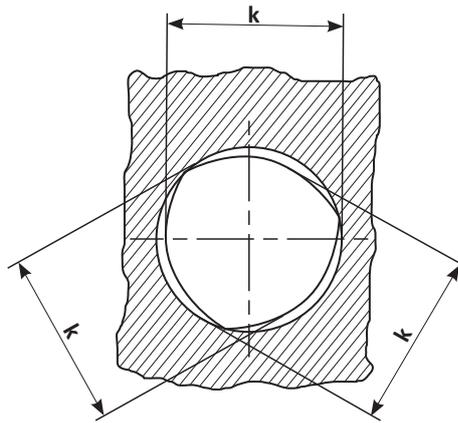


Fig. 4.12 - Forma de igual ancho

Otro error típico de redondez o falta de circularidad es el de forma de igual espesor, denominándose así a las secciones ovaladas, elípticas o con polígonos de número par de lados.

En cambio, la falta de redondez irregular es aquella forma triangular o poligonal de número impar de lados.

Otros defectos propios de fabricación son los que aparecen en la Fig. 4.13 y que se explicarán a continuación.

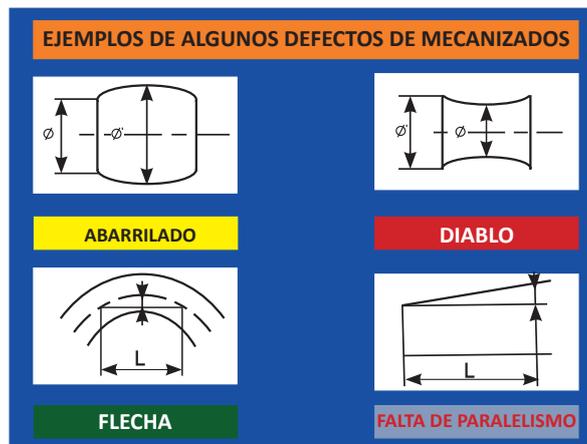


Fig. 4.13 - Ejemplo de errores de mecanizado

El primer cuadro de la Fig. 4.13, llamado “abarrilado”, se manifiesta por la diferencia entre el diámetro de la sección central y el de las secciones extremas. Corresponde a un error de rectitud de las generatrices y a uno de cilindricidad. En cada sección por separado aparece uno de circularidad, es por ello que como mínimo hay que controlar la pieza en dos direcciones ortogonales (o perpendiculares).

Otro de similares características, ya que es de rectitud, cilindricidad y circularidad, es el denominado “diablo”. Consiste, al igual que el anterior, en una diferencia entre el diámetro de las secciones extremas y el de la sección central. A diferencia del anterior, en el “diablo” la sección central es de menor diámetro que las extremas, lo opuesto al “abarrilado”. La “flecha” es la separación máxima entre la línea de los centros de las secciones y la recta que une al

centro de las secciones extremas de la pieza o las secciones límites en una longitud L dada. Es un típico error de rectitud de un eje.

Por último, se muestra el error de falta de paralelismo, también llamado falso paralelismo, que se manifiesta como la separación de la distancia de un eje o una cara con respecto a un eje u otra cara en una longitud L dada. Es la medida perpendicular a la cara o eje de referencia, en otras palabras, al datum. Es un error de paralelismo.

Otro error de fabricación que muchos en fábrica llaman “descentrado”, consistente en la separación de dos ejes, es el error de coaxialidad o concentricidad.

Muchas personas que trabajan en producción nombran como “falsa escuadra” a la separación respecto al ángulo recto de dos ejes o dos caras. En realidad es un error geométrico de perpendicularidad.

Al runout, error de cabeceo o también conocido como oscilación o alabeo, muchos en fábrica lo llaman “falso redondeo”. Consiste en la variación del radio en 360° con respecto a un eje de referencia. El falso redondeo, o apropiadamente runout, comprende todos los defectos, descentrado, ovalización, triangulación, etc., es decir, todos los errores geométricos: coaxialidad, concentricidad, circularidad, cillindricidad y el resto.

El error de cabeceo, llamado en inglés runout, es aplicable a piezas de revolución y que funcionan en rotación, o en aquellas que hay algo que rota en ellas.

En consecuencia, el runout es cuánto varía una característica o características de referencia con respecto a otro datum cuando la pieza se gira 360° alrededor del eje de datum. Es esencialmente un control de una característica circular y cuánto varía la misma respecto a su eje de rotación.

Los métodos de control de estos errores son dinámicos, ya que se hace girar la pieza. A este error se lo conoce también con el nombre de error de oscilación.

Este error es suma de otros que influyen en él, como errores de forma de los datums, errores de forma de la característica, errores de paralelismo en los cilindros datum, errores de paralelismo entre éstos y la característica, entre otros. Esto no quiere decir que sea una suma directa de ellos, ya que se encuentran desfasados entre ellos, con lo que en realidad unos compensan en parte a otros. De modo que el error de cabeceo evalúa de una forma muy funcional el modo real de funcionamiento de una pieza que rota o que algo rota alrededor de ella. Por último, el cabeceo de una sección de una pieza a ser medida puede ser radial o axial.

El runout es un error clásico de los sistemas mecánicos rotativos. Específicamente, hace referencia a que una herramienta o el eje de una máquina no giran exactamente en línea con el eje principal.

Por ejemplo al agujerear, el descentrado o cabeceo dará como resultado un orificio más grande, debido a que la broca estará girando excéntricamente, es decir, desplazada con respecto al eje de rotación. Ver Fig. 4.14.

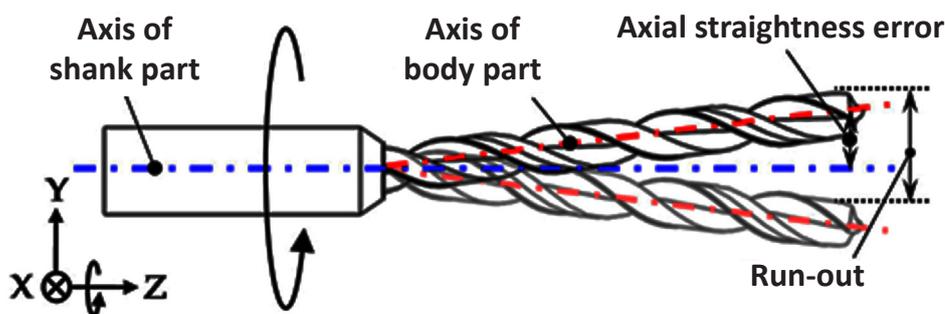


Fig. 4.14 - Run out en una mecha como combinación de varios errores geométricos

En el caso de los rodamientos, el descentramiento causará vibraciones en la máquina y mayores cargas en ellos. Ocasiona diversos problemas en los engranajes y es por eso que se los mide en ellos también.

Además del runout en la Fig. 4.14, se pueden observar varios errores tales como de concetricidad, rectitud del eje, perpendicularidad, posición verdadera, entre otros, todos producidos en forma simultánea cuando se gira la pieza y enmascarados dentro del runout.

El runout es un efecto dinámico y no se puede compensar. Si un componente giratorio, como un portabrocas, no sujeta la broca centralmente, entonces ésta rotará alrededor de un eje secundario.

El cabeceo o runout tiene dos formas principales de manifestación:

El descentrado radial, que se debe a que la herramienta o el componente está girando situado fuera del centro, es decir, la herramienta o el eje del componente no se corresponde con el eje principal. La desviación radial medirá lo mismo a lo largo del eje principal.

El cabeceo o runout axial es causado por la herramienta o componente que forma un ángulo con respecto al eje de rotación. La excentricidad axial hace que la punta de la herramienta gire fuera del eje de rotación con respecto a la base, y varía según el punto donde se mida.

A partir de todos estos ejemplos se puede constatar la influencia que tiene el mecanizado en los errores geométricos y la importancia de establecer tolerancias geométricas en los planos por parte del proyectista para poder controlarlos.

Es importante recordar que tolerancia geométrica es la comparación de una forma geoméricamente pura o ideal, establecida por el proyectista en el plano, y la forma real, que es la generada a partir de la fabricación de la pieza y es medida o controlada por el metrólogo o por el inspector de calidad.

Se repetirá mucho en las próximas secciones el término zona de tolerancia. Se entiende como tal a toda aquella zona imaginaria en la cual una característica de la pieza debe ser completamente contenida para que la pieza pase exitosamente la inspección metrológica. De lo contrario, si la característica de la pieza queda fuera de la zona de tolerancia, ésta se encuentra rechazada.

Previo a la interpretación de las tolerancias geométricas es necesario tener en claro la diferencia entre sección y superficie.

Se entiende por sección una feta de una superficie, como si se cortara un pan en rodajas. Es decir, una línea o contorno de una pieza. En el caso de una pieza producto sería una “rodaja” o “feta” de la misma.

La superficie involucra a todas las secciones de la pieza. En relación al ejemplo del pan, sería todo el pan sin cortar, el pan completo. La pieza, en este caso, se mediría a lo largo de toda su superficie no en secciones independientes o “fetas” o “rodajas”.

En consecuencia, hay que diferenciar entre perfil de sección o línea y superficie. Se trata de pasar del análisis de secciones a un concepto tridimensional en el que se analiza toda la superficie. Esto quiere decir que, en el análisis de secciones, se tratan los datos tomados en secciones independientes de la pieza como si se cortara en fetas, sin mezclar datos de una sección con otras. Esto significa que se mide sección por sección. En cambio, en el análisis de superficie, se toman puntos de la misma en forma conjunta.

Los errores geométricos fueron tratados en esta sección. En la próxima se abordará la interpretación y forma de acotación de los mismos.

## 4.2 Interpretación y forma de acotación

### 4.2.1 Tolerancias de forma

En este párrafo se desarrollará la forma de acotar e interpretar las tolerancias de forma mencionadas en el cuadro de la Fig. 4.15.

### TOLERANCIAS DE FORMA

Características	Símbolos
Rectitud	
Planicidad (o planitud)	
Circularidad (o redondez)	
Cilindricidad	
Forma de una línea cualquiera	
Forma de una superficie cualquiera	

Fig. 4.15 - Tolerancias de forma

La norma ASME Y 14.5 - 2018 y sus anteriores versiones consideran solamente como tolerancias de forma a las que son pura y exclusivamente elementos aislados. Dentro de este grupo se encuentran las de rectitud, planicidad, circularidad y cilindridad. Llama esta norma a las tolerancias de forma de una línea y de una superficie como tolerancias de perfil, pudiendo éstas utilizar o no un elemento asociado, o de otra manera venir acompañado en el cuadro de control, de datum o no.

#### Rectitud

Existen dos casos para acotar la tolerancia debida al error de falta de rectitud:

- Rectitud bidimensional: es la utilizada básicamente para caras y en la tolerancia no se indica el diámetro.
- Rectitud tridimensional: es usada para ejes de cuerpos y en la tolerancia se indica el diámetro.

La Fig. 4.16 muestra las dos posibilidades que tiene un diseñador de acotar la tolerancia de rectitud.

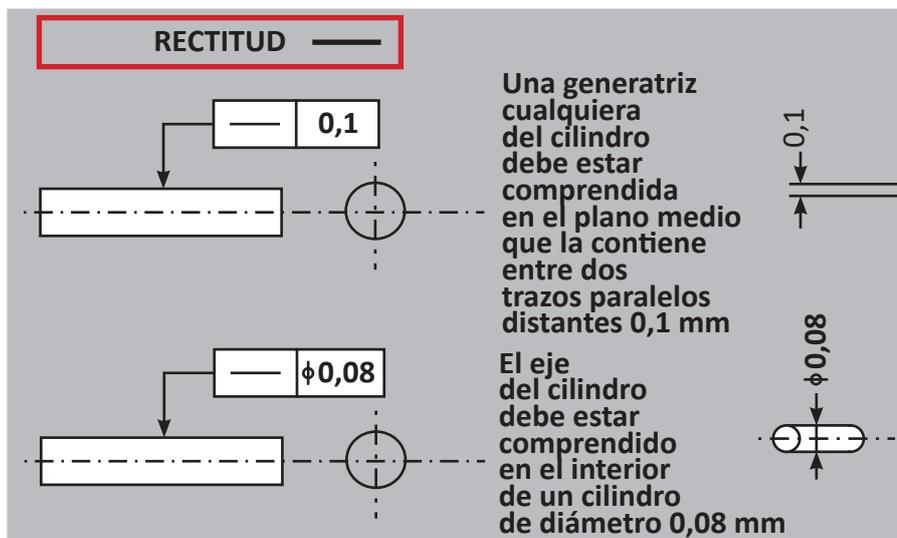


Fig. 4.16 - Rectitud

# Medición de errores geométricos

## 5.1 Selección de los instrumentos y equipos necesarios

En el capítulo 1 se definió a la metrología, cuáles eran sus ramas, los diferentes tipos, la metrología dimensional específicamente y las competencias del metrólogo. Ahora en esta sección se brindarán reglas y criterios para la selección de instrumentos, presuponiendo que el lector posee conocimientos básicos de metrología dimensional en relación al principio de funcionamiento, uso y lectura de los instrumentos de mano básicos. Como instrumentos de mano básicos se entiende calibres, micrómetros y relojes comparadores. De no poseer los mismos deberá consultar bibliografía apropiada para adquirirlos de manera de poder interpretar lo que aquí se desarrolle.

Los tipos de mediciones en metrología dimensional son dos:

- *Medición por variables*
- *Medición por atributos*

La *medición por variables* es aquella que se realiza con instrumentos y equipos de medición que permiten obtener un valor medido por medio de una lectura analógica o digital. El valor obtenido de la medición es un número. Por ejemplo, la medición con una regla, un calibre pie a coliza, un micrómetro de exteriores y otros instrumentos que posean algún tipo de escala constituye una medición por variables.

En cambio, la *medición por atributos* es aquella en donde se evalúa cualidades o ausencia de defecto. El valor obtenido de la medición no es numérico. Es una medición típica de los *calibres de límites*, conocidos también como *pasa-no pasa* o *calibres por atributo*.

Resumiendo, los sistemas de *medición por atributos* son aquellos donde los valores de medición son un número finito de categorías. Esto contrasta con los *sistemas de medición por variables* los cuales pueden resultar en un número infinito de valores. Como se indicó para el caso de la medición por atributo, los más comunes en metrología dimensional son los *calibres pasa/no pasa*. Este tipo de calibre sólo cuenta con dos posibles resultados: Pasa / No Pasa.

Se llama *característica de calidad* a los elementos que definen la calidad del producto.

En el control del producto se definen dos tipos de características de calidad: variables y atributos.

Las variables se miden utilizando una escala, como por ejemplo el peso, la longitud, el espesor, la temperatura, etc. Pueden ser números enteros o fraccionarios.

Las de atributos se miden contando la cantidad de veces en que las unidades del producto tienen determinadas características. Estas características están centradas en defectos. Los productos se clasifican en “buenos” o “malos”, “aceptados” o “rechazados” o se cuentan los defectos que tengan. Por ejemplo la *cantidad de unidades defectuosas*, la *cantidad de defectos de cierto tipo que tiene el producto*, etc.

Desde el punto de vista del *control estadístico de proceso* se puede explicar la diferencia entre mediciones por variables y por atributos, ya que para realizar cualquier *gráfico de control* se debe medir.

El esquema de la Fig. 5.1 muestra simplificada en que consiste el *Control Estadístico de Proceso (CEP)* o en inglés *Statistical Process Control (SPC)*.

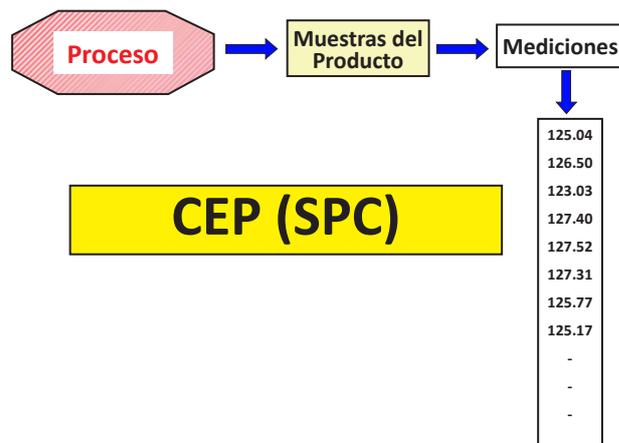


Fig. 5.1 - Control estadístico de procesos

Dado un proceso cualquiera de fabricación se toman muestras del producto a controlar (Fig. 5.1) para efectuar mediciones por *variables* o por *atributos*. Luego los valores medidos son volcados al *gráfico de control* y se evalúa si se encuentran dentro de los *límites de control establecidos*.

El objetivo central de los *gráficos de control estadístico de proceso* es poder gobernar un un proceso.

Para ello es necesario detectar cuando ocurra una *variación anormal*, es decir, la provocada por una *causa especial* (también llamada *sistemática*) y estudiar inmediatamente cuál fue su origen para corregirla y volver a poner el proceso en condiciones de funcionamiento normal, entendiéndose por condiciones normales cuando al proceso sólo lo afectan sus *variaciones naturales o comunes*, llamadas también *aleatorias*.

De las mediciones tomadas a partir de la muestra de la figura surgen *datos*, entendiéndose a éstos como cualquier valor referido a una medición o a una observación de un proceso y como *población* a la totalidad del objeto bajo consideración, definiéndose a la *muestra* como una o más unidades tomadas de una población.

La norma ISO 3534-1 indica que una *variable aleatoria* es justamente aquella que *puede tomar cualquiera de los valores de un conjunto especificado de datos y con la cual hay asociada una distribución de probabilidad*.

Existen dos tipos de variables aleatorias:

- Variables aleatorias discretas
- Variables aleatorias continuas

Una *variable aleatoria discreta* es aquella que sólo *puede tomar valores enteros*, como por ejemplo:

- número de alumnos en un aula
- número de hijos de una familia
- la puntuación obtenida al lanzar un dado

Una *variable aleatoria continua* es aquella que puede tomar *todos los valores posibles dentro de un cierto intervalo finito o infinito*, como por ejemplo:

- altura de los alumnos de una clase
- temperaturas registradas cada hora en un laboratorio
- diámetro de las ruedas de varios coches

Existen dos tipos de gráficos de control estadístico de proceso:

- *Gráfico de control por variables*
- *Gráficos de control por atributos*

El *gráfico de control por variables* se utiliza cuando la *característica de calidad* puede expresarse como una medida numérica resultante de una medición. Por ejemplo, la medición de un diámetro de un cojinete o la longitud de un eje. En cambio el de *atributos* se utiliza para casos como rayado o no rayado, pasa o no pasa un calibre tapón por un agujero, característica a controlar, ya que los atributos son aquellas *características de calidad no mensurables* cuya dimensión no se puede representar por una cifra.

La *medición por variables* se divide en dos grandes grupos:

- *Medición directa*
- *Medición indirecta*

La *medición directa* es aquella en donde el valor se obtiene directamente de la lectura de las indicaciones suministradas por el instrumento. Es la realizada, por ejemplo, con reglas, calibres pie a coliza, micrómetros de exteriores, etc.

Se llama *medición indirecta* a aquella donde se obtiene el valor medido por comparación contra un patrón de referencia, típica de todos los relojes comparadores.

Gráficamente todo lo expresado hasta aquí en relación a las *mediciones directa e indirecta* se resume en el cuadro de la Fig. 5.2.

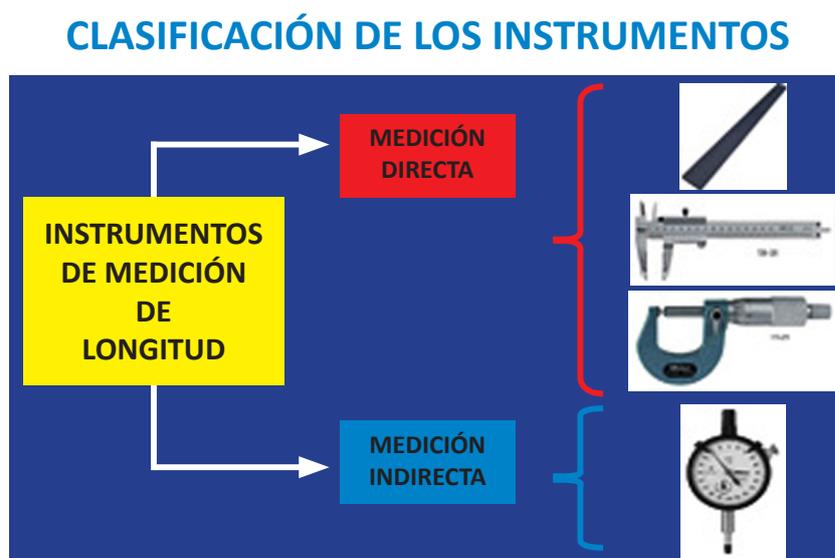


Fig. 5.2 - Instrumentos de medición directa e indirecta

Las características principales de la medición indirecta se muestran en la Fig. 5.3.



Fig. 5.3 - Características principales de medición indirecta

La gran *ventaja* de la *medición indirecta* es su *amplificación* y gran *sensibilidad* del instrumento o equipo de medición. La resolución es muy buena ya que permite discriminar valores muy pequeños y, para lograr ésto, el rango del instrumento es reducido. Un ejemplo es un reloj comparador de resolución centesimal, que generalmente tiene un rango de 10 mm. En cambio, uno de resolución milesimal posee un rango de 5 mm. Un caso extremo es del *reloj comparador mikrokator*, que se muestra en la Fig. 5.4, cuya resolución es de  $0,1 \mu\text{m}$  y rango entre  $-6 \mu\text{m}$  a  $6 \mu\text{m}$ . Este instrumento es muy sensible y de gran amplificación.



Fig. 5.4 - Mikrokator

Esto implica que, con este tipo de medición, se logra *pequeña incertidumbre* y *gran exactitud*. Los *instrumentos de medición indirecta*, obviamente, son de *mejor calidad* que los de *medición directa* y, por ende, muchas veces más caros.

Para construir una pieza es necesario partir de materias primas. Estas, mediante el uso de dispositivos, máquinas y herramientas, son transformadas a lo largo del proceso productivo en partes del producto y deben ser controladas de acuerdo a planos y especificaciones. Estos controles son realizados en casi todos los sectores participantes en la fabricación del producto. Los tres sectores dentro de una empresa a los que se hará referencia en este texto son el de fabricación, el de control de calidad y el laboratorio de metrología dimensional.

El de fabricación utiliza en una empresa metalmecánica, por lo general, *instrumentos de control tipo pasa-no pasa* (Fig. 5.5), los cuales realizan un *control por atributos* de las piezas. En menor medida se emplean instrumentos de lectura directa (control por variables) para la verificación de las piezas fabricadas.



Fig. 5.5 - Calibres por atributos pasa-no pasa

Un ejemplo de *calibres por atributos* son los de la figura anterior. Los calibres pasa-no pasa ubicados a la izquierda se llaman de *herradura lisos* y se utilizan para controlar ejes. Los de la derecha son *calibres tapones lisos* utilizados para controlar agujeros. Se aclara lo de lisos, pues podrían ser *calibres tapones o herraduras roscados* para el control por atributos de roscas *internas o externas* respectivamente.

Los instrumentos y patrones en metrología dimensional se clasifican en cuatro grupos:

- Referencia
- Lectura directa
- Lectura indirecta (o de comparación)
- Elementos auxiliares

La Fig. 5.6 muestra ejemplos de esta clasificación: una *caja de bloques patrones* como *referencia*, un *calibre vernier* y un *micrómetro de exteriores* dentro del grupo de los de *lectura directa*, un *reloj comparador* representando a los instrumentos de *lectura indirecta* y la *base del reloj comparador* a manera de ejemplo de *elementos auxiliares*.



Fig. 5.6 - Ejemplos de clasificación de los instrumentos

Para un mayor detalle se incluye la Fig. 5.7 con mayor cantidad de ejemplos de los instrumentos de mano más usualmente empleados en taller y en fábrica.

**CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE MEDICIÓN  
EN METROLOGÍA DIMENSIONAL**

Referencia	Comparación	Lectura Directa	Auxiliares
Patrón de planicidad Patrón de rectitud Patrón de perpendicularidad Patrón de longitud Patrón de cilindridad Patrón de esfericidad Anillos Patrones Patrón de trazos Patrón de rugosidad Patrones angulares	Comparadores	Cintas métricas	Prismas en V Paralelas Cubos Bases porta comparadores Gatos de nivelación
		Reglas de trazos: Vidrio Acero, rígidas y flexibles	
		Calibres tipo: Vernier Profundidad Altura Especiales	
		Micrómetros de: Exterior Interior Profundidad Altura Especiales	
		Goniómetros	

*Fig. 5.7 - Clasificación de los instrumentos*

Para poder seleccionar un instrumento hay que conocer dos términos, pertenecientes ambos al *Vocabulario Internacional de Metrología*<sup>1</sup>: uno es el de *clase de exactitud* y el otro el de *error máximo permitido o admisible*. En la Fig. 5.8 se expone la definición de clase de exactitud.

**CLASE DE EXACTITUD**

**Clase de instrumentos o sistemas de medida que satisfacen requisitos metrologicos determinados destinados a mantener los errores de medida o las incertidumbres instrumentales dentro de los límites especificados bajo condiciones de funcionamiento dadas.**

**(Se indica mediante número o símbolo)**

*Fig. 5.8 - Clase de exactitud*

Cabe aclarar que se entiende por *error de medición* a la diferencia entre un *valor indicado, leído o medido* en el instrumento y el *valor de referencia*.

En el cuadro de la Fig. 5.9 se define el *error máximo permitido*.

<sup>1</sup> VIM: *Vocabulario Internacional de Metrología*. Consultar en [www.bipm.org](http://www.bipm.org)

**ERROR MÁXIMO PERMITIDO**

**Error máximo permitido o Error máximo tolerado**  
**Valor extremo del error de medida con respecto a**  
**un valor de referencia conocido, permitido por**  
**especificaciones o reglamentaciones, para**  
**una medición, instrumento o**  
**sistema de medida dado.**

Fig. 5.9 - Error máximo permitido

El cuadro orientativo de la Fig. 5.10 muestra, a manera de ejemplo, algunos instrumentos típicos de *lectura directa*: su *rango*, *resolución*, un ejemplo de *norma de aplicación* y el *error máximo admisible*.

Instrumento de lectura directa	Rango	Resolución	Norma	Error máximo permitido
Cintas metricas	(0-200) m (0-5) m	10 mm 1 mm	OIML RI N° 35	C I $\pm(0,1 + 0,1 L)$ mm C II $\pm(0,3 + 0,2 L)$ mm C III $\pm(0,6 + 0,4 L)$ mm L en mm
Reglas	(0 - 2000) mm	1 mm	DIN 866	CA $\pm 60 \mu\text{m}$ CB $\pm 150 \mu\text{m}$
	(0 - 500) mm	0,5 mm		CA $\pm 40 \mu\text{m}$ CB $\pm 100 \mu\text{m}$
Calibres Vernier	(0 - 1000) mm	0,1 mm 0,05 mm	JISB 7505	$\pm 0,15$ mm
	(0 - 200) mm	0,02 mm (mecánico) 0,01 mm (digital)		$\pm 0,03$ mm
Micrómetros de exteriores	(475 - 500) mm	0,01 mm (mecánico)	JISB 7502	$\pm 8 \mu\text{m}$
	(0 - 25) mm	0.001 mm (mecánico) 0,002 mm (mecánico) 0,001 mm (digital)		$\pm 2 \mu\text{m}$
Goniómetros	4 x 90° (mecánico)	5'	BS 1685	$\pm 5'$

Fig. 5.10 - Cuadro orientativo de errores máximos admisibles

El objetivo de presentar en este texto el cuadro orientativo de la Fig. 5.10 es que el lector consulte la norma correspondiente o el manual del fabricante para acceder al valor de los *errores máximos admisibles* tanto de instrumentos como de equipos.

En muchos *manuales de equipos* aparece la palabra inglesa *accuracy*, que se debe traducir como *exactitud*, tomándose su valor como el de *error máximo admisible*. En otras especificaciones de fabricantes de equipos aparece la palabra *precisión* en inglés. Se debe actuar similar al caso anterior.

Es muy importante conocer la procedencia u origen del instrumento a utilizar para poder seleccionar el *error admisible* más adecuado, ya que si el instrumento es de origen japonés puede ser que cumpla con la norma japonesa pero no con una europea debido a que los *errores máximos admisibles* y los patrones de las *clases de exactitud* pueden llegar a ser diferentes y el instrumento o el patrón ser aprobado por una norma y rechazado por otra.

El mensaje y la recomendación es clara: controlar el cumplimiento del instrumento con una norma del país de origen de fabricación del mismo. De esta manera se logrará una correcta confirmación metrológica, entendiéndose como tal que el instrumento se encuentre calibrado y cumpla con la norma. Todo lo indicado hasta aquí, para instrumentos es extensivo a equipos.

A manera de ejemplo, para calibres fabricados en Japón como el de la Fig. 5.11 la norma JIS B 7505 estipula que si la resolución de los mismos es de 0,05 mm y 0,1 mm, los *errores máximos admisibles* rondarán en el orden promedio de 0,10 mm a 0,15mm dependiendo del tamaño del calibre. Esto quiere decir que a mayor rango se tendrá un *error máximo admisible* mayor.



Fig. 5.11 - Calibre pie a coliza

Para el caso de calibres fabricados en Japón, la norma JIS B 7505 indica que si su resolución es de 0,02 mm o 0,01 mm para los de tipo digital, los *errores máximos admisibles* estarán entre 0,03 mm a 0,06 mm en función del tamaño de los mismos.

En el caso de un micrómetro de exteriores de origen japonés como el de la Fig. 5.12 que responde a la norma JISB 7502 tanto para resoluciones 0,01mm y 0,001mm, los *errores máximos admisibles* se encontrarán entre 2  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$  en función del tamaño de los mismos.



Fig. 5.12 - Micrómetro centesimal de exteriores

A continuación se muestra, a manera de ejemplo, diversas tablas de *errores máximos admisibles* para distintos instrumentos. El lector deberá, a la hora de seleccionar un instrumento, consultar la norma de origen del mismo en su edición vigente y extraer la información de ella.

La Fig. 5.13 muestra la tabla de *errores máximos admisibles* para *calibres vernier*, también llamados pie a coliza, perteneciente a la norma JIS B 7505.

Unit: mm

Measuring Length	Scale intervals, minimum indicating quantities or minimum reading values	
	0.1 or 0.05	0.02 or 0.01
50 or under	±0.05	±0.02
Over 50 to 100 or under	±0.06	±0.03
Over 100 to 200 or under	±0.07	
Over 200 to 300 or under	±0.08	±0.04
Over 300 to 400 or under	±0.09	
Over 400 to 500 or under	±0.10	±0.05
Over 500 to 600 or under	±0.11	
Over 600 to 700 or under	±0.12	±0.06
Over 700 to 800 or under	±0.13	
Over 800 to 900 or under	±0.14	±0.07
Over 900 to 1000 or under	±0.15	

Fig. 5.13 - Tabla de errores máximos admisibles para calibres Vernier

La siguiente es una tabla de *errores máximos admisibles* para *calibres pie de rey* o *pie a coliza* (Fig. 5.14) que brinda ejemplos de posibles maneras diversas de expresar los errores en diferentes normas.

### ERRORES MÁXIMOS ADMISIBLES EN CALIBRES

#### LÍMITES DE ERROR PERMITIDOS

NORMA	MIN.IND (mm)	LÍMITES (µm)
DIN 862	0,05	± (50 + L/20)
ISO 3599	0,1 y 0,05	± (50 + 0,1L)
JIS B 7507	0,1 y 0,05 0,02 y ,01	± 0,06 mm ± 0,03 mm

Fig. 5.14 - Límites de errores máximos permitidos para calibres Vernier

Para el caso de los *micrómetros de exteriores* se tiene la tabla de la Fig. 5.15 perteneciente a la norma JIS B 7502.

## ERRORES MÁXIMOS ADMISIBLES EN MICRÓMETROS

Tabla 4 – Desempeños de micrómetros para medición externa

Intervalo de medición mm	Planitud de las caras de medición $\mu\text{m}$	Paralelismo de las caras de medición $\mu\text{m}$	Error instrumental $\mu\text{m}$	Desviación de recorrido del husillo $\mu\text{m}$	Fuerza de medición N	Dispersión de la fuerza de medición N	Deflexión del arco por carga de 10 N $\mu\text{m}$
0 a 25	0.6	2	$\pm 2$	3	5 a 15	3	2
25 a 50							3
50 a 75		3	$\pm 3$				4
75 a 100							5
100 a 125							6
125 a 150							7
150 a 175							8
175 a 200		4	$\pm 4$				9
200 a 225							10
225 a 250		5	$\pm 5$				11
250 a 275							12
275 a 300	13						
300 a 325	1	6	$\pm 6$	14			
325 a 350				15			
350 a 375		6	$\pm 7$	16			
375 a 400				17			
400 a 425				18			
425 a 450				19			
450 a 475				20			
475 a 500	7	$\pm 8$	21				

Fig. 5.15 - Errores máximos permitidos para micrómetros de exteriores

En relación a goniómetros, por ejemplo analógicos como el de la Fig. 5.16, habitualmente su resolución es de 5' y rango 4 x 90°. Generalmente su *límite de error admisible* es 5'.

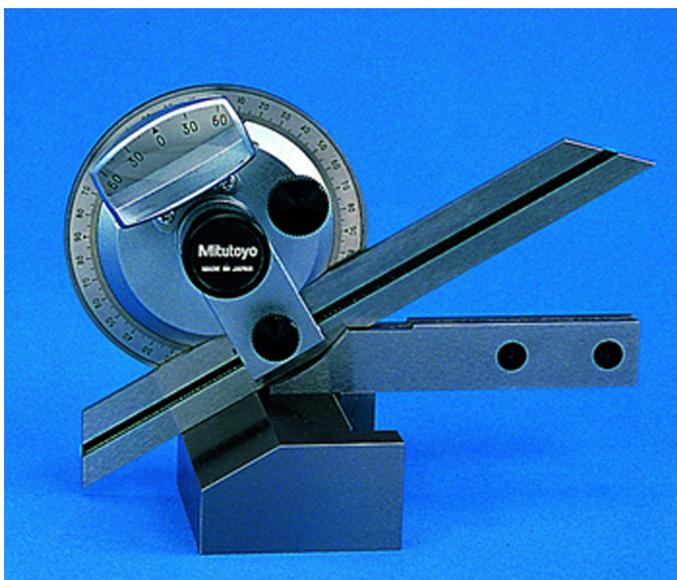


Fig. 5.16 - Goniómetro (758)

12) Dada la siguiente vinculación:

$\phi$  100 H7/g6

- a) Realizar el esquema de vinculación.
- b) Indicar el sistema de vinculación.
- c) Indicar el tipo de ajuste.
- d) Sin utilizar tablas calcular los diámetros máximos y mínimos de cada pieza. Dejar planteadas las expresiones. Indicar que parámetros se obtendrían de tablas.
- e) Sin utilizar tablas calcular juegos o ajustes o ambos. Dejar planteadas las expresiones.

13) Interpretar la vinculación y realizar un esquema gráfico de la misma especificando cuáles valores salen de tabla y a qué corresponden. Calcular diámetros máximos y mínimos, determinar el sistema de vinculación, calcular juego o apriete según corresponda y el tipo de ajuste en cada caso. Especificar la posición de las tolerancias fundamentales y de la línea de cero para cada uno de los ejercicios.

- a)  $\varnothing$  125 H7/g6
- b)  $\varnothing$  10 H7/p6
- c)  $\varnothing$  10 J7/h6
- d)  $\varnothing$  70 g6/J8
- e)  $\varnothing$  70 G6/h5
- f)  $\varnothing$  22 n6/J7

14) Contestar las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuál es la temperatura de referencia en metrología dimensional?
- 2) ¿Qué es la metrología?
- 3) ¿Cómo selecciona un instrumento de medición?
- 4) ¿Qué es la clase de exactitud de un instrumento o patrón, cuál es su expresión en metrología dimensional?
- 5) ¿Cuál es la diferencia entre iluminación episcópica y diascópica?
- 6) Definir GD&T.
- 7) Explicar qué entiende por inversión y dar un ejemplo.
- 8) ¿Qué es runout, cuántos tipos conoce y cómo se controlan?
- 9) ¿En cuántos grupos generalmente se dividen los instrumentos de medición utilizados en Metrología Dimensional? Indicar al menos dos instrumentos característicos por grupo.
- 10) ¿Cuál es la diferencia entre los puntos de Airy y Bessel, dónde se aplican y cómo se obtienen?
- 11) ¿Qué es un error máximo admisible?
- 12) Nombrar y explicar los sistemas de alineación en GD&T.
- 13) ¿Qué entiende por confirmación metrológica?
- 14) ¿Qué es una MMC y cómo funciona?
- 15) La medición con un calibre pasa no pasa, ¿qué tipo de medición es?

- 16) ¿Qué es una medición por variable?
- 17) ¿Cuál es la diferencia entre calibración, verificación, ajuste y validación? Explicar y dar ejemplos.
- 18) ¿Se miden las dimensiones básicas? Justificar y dibujar su símbolo.
- 19) ¿Qué entiende por posición verdadera?
- 20) ¿Qué se entiende por línea de cero y desviación fundamental? ¿Qué información sale de tablas? Justificar.
- 21) ¿Qué información aparece en un cuadro de control? Dibujar el mismo.
- 22) ¿Cómo se realiza la limpieza de elementos roscados?
- 23) ¿Cómo se define una desviación, antiguamente llamada discrepancia?
- 24) ¿Cuál es símbolo de forma de una superficie y explicar qué representa?
- 25) ¿Cuál es la calidad que se considera tope económico?
- 26) ¿Cuál es el criterio de acotación de la tolerancia proyectada? ¿Cómo debe aparecer en el plano? ¿Cuál es su símbolo?
- 27) ¿Cuál es la temperatura de medición en un laboratorio industrial?
- 28) Explicar la diferencia entre sistema cartesiano y GD&T.
- 29) ¿Cuántos sistemas de ajuste conoce? Explicar.
- 30) Explicar cómo controla paralelismo en una pieza, que instrumentos podría llegar a usar y dé un ejemplo de acotación.
- 31) Escribir la unidad internacional de tolerancia y explicar el significado de sus términos.
- 32) ¿Qué es un simulador de datum? Dar un ejemplo.
- 33) Explicar el principio de inversión aplicado a un alesómetro.
- 34) ¿Qué es la metrología legal y cuál es su campo de aplicación?
- 35) ¿Qué es un check master?
- 36) ¿Qué es un brazo de medición articulado y cómo funciona?
- 37) Explicar la definición de mensurando para un tramo de puente de medición de gas según AGA 3. ¿Qué errores geométricos aparecen en el mismo?
- 38) Ídem a la pregunta anterior pero para la medición de un cilindro hueco y un perno de pistón. ¿Qué instrumentos se usaron en estos dos casos?
- 39) ¿Cuál es la diferencia entre un error macro geométrico y uno micro geométrico?
- 40) La falta de planicidad, ¿es un error macro geométrico o micro geométrico?
- 41) ¿Qué es la resolución de un instrumento? Explicar y adjuntar definición del VIM.
- 42) ¿Qué es el error máximo permitido o admisible?
- 43) ¿Cuál es la diferencia entre medición por variables y por atributos?
- 44) ¿Cuál es la diferencia entre medición directa e indirecta?
- 45) Mencionar los sistemas de alineación que conoce y explicarlos.
- 46) ¿Cuál es la diferencia entre runout simple y total?
- 47) ¿Cómo se mide el runout?
- 48) ¿Lleva datum el símbolo de planicidad? Justificar.
- 49) ¿Qué es la condición virtual y dónde se aplica?

50) ¿Qué se entiende por bonus, cuáles son sus métodos de cálculo y en qué casos se aplica?

51) Nombrar, explicar e identificar los cambios que hubo e incorporó ASME Y 14.5-2009 y ASME Y 14.5-2018.

52) Mediante qué fórmula se determina la clase de exactitud de los patrones de referencia:

$CE = \pm (\text{CONSTANTE})$       $CE = (\text{CONSTANTE})$

$CE = \pm (\text{CONSTANTE A} + \text{CONSTANTE B} \times \text{VARIABLE})$

$CE = (\text{CONSTANTE A} + \text{CONSTANTE B} \times \text{VARIABLE})$

$CE = \pm(\text{CONSTANTE} \times \text{VARIABLE})$       $CE = (\text{CONSTANTE} \times \text{VARIABLE})$

53) ¿Cuál es la temperatura de referencia en metrología dimensional?

54) ¿Qué características metrológicas se deben controlar en un mármol de referencia?

- Espesor

- Ancho

- Planitud

- Efecto invernadero

- Largo

55) ¿Cuáles de los siguientes son ajustes homólogos?

J7/h6

H7/g6

H7/G6

G6/H7

H5/g7

H7/j6

G7/h6

56) ¿Qué significa en un plano 23,5 F9?

57) Nombrar por lo menos una aplicación práctica de uso de un autocolimador.

58) ¿Qué es la colimación de un haz de luz?

59) Nombrar los aumentos de un proyector de perfiles. ¿Con cuál de ellos se logra una imagen de contorno más nítida, pero más pequeña?

60) Explicar el principio de medición indirecta, con qué instrumentos se realiza y cuál es su ventaja respecto a la medición por lectura directa.

61) Esquematizar y explicar el concepto de inversión al utilizar un micrómetro tubular de dos contactos en la medición de la sección circular de un caño cilíndrico.

62) Explicar brevemente y graficar cómo se utiliza una escuadra cilíndrica y pines para la calibración de una escuadra o mediciones de perpendicularidad. ¿Qué otro elemento se utiliza en esta medición?

63) Explicar el concepto de GD&T y la diferencia entre tolerancias geométricas y rectangulares.

64) ¿Qué entiende por condición de máximo material y de mínimo material? ¿Cuáles son sus símbolos?

- 65) Explicar cuántos grados de libertad tiene una pieza en el espacio, a que movimientos corresponden y graficar. ¿Cuántos sistemas hay para restringirlos, es decir, fijar la pieza o alinear la misma? Explicar los mismos.
- 66) ¿Qué entiende por datum y datum target point? ¿Cuáles son sus símbolos?
- 67) ¿Mediante qué fórmula se determina la clase de exactitud de los patrones de referencia en metrología dimensional?
- 68) Colocar la expresión genérica para determinar la clase de exactitud de un bloque patrón, explicar sus componentes.
- 69) ¿Cuáles son las condiciones de material existentes? ¿En qué se diferencian si se encuentran referidas a un agujero con respecto de un eje?
- 70) Desarrollar el método de control de los runout simple y total e indicar sus diferencias.
- 71) Mencione los tres tipos de ajustes que pueden ocurrir cuando se acoplan dos piezas.
- 72) ¿Cuál de las siguientes sería una característica de tamaño?
- a) Un agujero
  - b) Una superficie plana
  - c) Ambas
  - d) Ninguna
- 73) ¿Qué es  $MPE_E$  y cuál es su expresión matemática? ¿A qué se aplica y para que se utiliza?
- 74) ¿Qué controla el lado no pasa en un calibre por atributos?
- 75) ¿Qué controla el lado pasa en un calibre por atributos?
- 76) ¿Qué es una tolerancia?
- 77) Un ejemplo de condición de máximo material es:
- a) El tamaño máximo de una pieza
  - b) El tamaño máximo de una característica interna
  - c) El límite superior de una característica externa
  - d) Todo el material de una parte

# Bibliografía

- Bennich. P, Nielsen. H, “Una visión global de GPS. Una herramienta para ahorro de costes. Especificaciones Geométricas de Producto”, traducción al español de María Ana Sáenz Nuño y Héctor Gonzáles Muños, Vaerloese: Institute for Geometrical Product Specifications, 2005.
- Bosch. J.A, “Coordinate Measuring Machines and Systems”, New York: Marcel Dekker Inc., 1995.
- Busch. T, “Fundamentals of Dimensional Metrology “, Wilkie Brothers Foundation, 1989.
- Campos. C, “El plano de fabricación de piezas mecánicas. Estudio de su elaboración y lectura”, Naguanagua: Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, 2014.
- Cardoso Alcobia Fanha. M, “Estudo de estratégias de medição para controle do dimensionamento geométrico e toleranciamento (GD&T) em peças estampadas”, Curitiba: Univerdida de Tecnológica Federal de Paraná, Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de Mecânica, Engenharia Industrial Mecânica, 2011.
- Casillas. A.L, “Máquinas. Cálculos de taller”, Madrid: Casillas, 1974.
- Castro. P, “Reparación de Media Vida Submarino Tipo TR 1700, Primera parte”, Buenos Aires: el Snorkel, <http://www.elSnorkel.com>, 2009 .
- Cogorno. Gene R, Geometric “Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design”, New York: McGraw-Hill, 2020.
- Compain. L, “Metrología de Taller”, Ediciones Urmo, 1970.
- Collet. C.V, Hope. A.D, “Mediciones en ingeniería”, Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1976.
- Deforge. Y, Leynaud. A, Ortis. C, “Dunod Manipulations et travaux pratiques de metrologie”, 1971.
- Díaz del Castillo Rodríguez. F, “Lecturas de ingeniería 8 Tolerancias Geométricas”, Departamento de Ingeniería Laboratorio de Tecnología de Materiales, Facultad de Estudios Superiores Cuatitlán, 2008.
- Donegani. D, “Manual de Tolerancias y Ajustes. Calibradores de límites”, Buenos Aires: IRAM, 1967
- Doytchinov. K, “GD&T and Functionality versus Manufacturing Analysis and SPC”, NACMA, 2012
- Estévez Somolinos. S, “La medición en el taller mecánico. Tomo II - Verificación de piezas y conjuntos”, Barcelona: CEAC S.A., 1965
- Farago. F, “Handbook of Dimensional Measurement “, Industrial Press Inc., 1982.
- Gerling. H, Alrededor de las Maquinas-Herramientas. Barcelona: Reverte, 1992
- Gibson. I, Rosen. D, Stucker. B, “Aditive Manufacturing Technologies”, Nueva York: Springer, 2014
- Gonzalez Pulido. L.F, “Manual de Ajustes y Tolerancias. Práctica de ajustes y tolerancias”, Bucaramanga: Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander, 2015.
- Gonzales. C, Zeleny. R, “Metrología” México: Mc Graw-Hill, Interamericana de México S.A., 1995.

- Groover. M, “Fundamentos de la manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas”, México: Mc Graw-Hill Interamericana de México S.A., 2007
- Hamburg-Piekar. D.S, “Calibração de peças padrão em máquinas de medir por coordenadas”, Florianópolis: 2006.
- Hume. K.J, “Metrology with autocollimators”, Hilger & Watts Ltd, 1965.
- Hume. K.J, “Metrología industrial”, Editorial River S.A., 1962.
- Iglesias. M, “GD&T su importancia y campo de aplicación”, Migueletes: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, campus virtual, 2020.
- Iglesias. M, Lucchetti. P, Tomas. J, Trabajo “Acreditación de laboratorio de ensayo de materiales bajo norma ISO 17025”, Córdoba: XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, 2016.
- Iglesias. M, “Curso de calibración de máquinas de medir por coordenadas”, Lima: INACAL, 2015.
- Iglesias. M, Piotto. F, Forastieri. J, “Calibración de teodolitos y estaciones totales en escala horizontal y vertical”, Gramado: Congreso Internacional de Metrología Mecánica, 3º CIMMEC, 2014.
- Iglesias. M, “Diseño de dispositivos para la materialización práctica de los puntos de medición de Bessel y Airy y su obtención analítica”, Migueletes: Encuentro de Primavera en INTI, 2011
- Iglesias. M, Piotto. F, Cogno. J, Stella. J, Forastieri. J, “Dimensional control of submarine in the half life repair”, Salvador Bahia: V Congreso Brasileiro de Metrologia, Metrologia para a competitividade em áreas estratégicas, 2009
- Iglesias. M, Piotto. F, Cogno. J, “Desarrollo de dispositivos especiales para el control dimensional de un tubo Venturi de grandes dimensiones”, Río de Janeiro: CIMMEC I, Primer Congreso Internacional de Metrología Mecánica, 2008.
- Iglesias. M, Cogno. J, “Desafío Metrológico: Primer control dimensional de un tubo Venturi”, Migueletes: Intercambios INTI, N°5, 2006.
- Krulikowski. A, “Manual de Auto-Estudio Dimensiones y Tolerancias Geométricas”, Segunda edición Basado en ASME Y14.5M-1994, ETI, 2000.
- Krulikowski. A, “Fundamentals of Geometric Dimensioning and Tolerancing”, Delma, 1998
- Larburu. N, “Máquinas prontuario”, Madrid: Paraninfo, 2002
- Le Grand. R, “Nuevo manual del taller mecánico”, Tomos I y II, Barcelona-Madrid: Editorial Labor, 1966 .
- “Manual de normas para dibujo técnico. Tomo 1 IRAM.”, Buenos Aires: IRAM, 1992.
- “Manual de normas IRAM de dibujo tecnológico”, Buenos Aires: IRAM, 2017.
- “Máquinas de medición por coordenadas”, México: CENAM, 2007.
- Marbán. R, Pellecer. J, “Metrología para no metrólogos”, OEA, 2002.
- Martínez de San Vicente. E, “Metrología Mecánica”, Rosario: Universidad Nacional de Rosario, 1971.
- Minaire. CH, “Precis de Metrologie”, BPI , 1961
- Muntive Bautista. D.S, Reyes Martínez O., “Manufactura de una biela de un motor alternativo de uso aeronáutico”, México D.F, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Ticoman, 2013.
- NADCA, “NADCA Product Specification Standards for Die Castings”, Sección 5, Grand Ledge: NADCA Publication, 2006.
- NADCA, “NADCA Product Specification Standards for Die Castings”, Grand Ledge: NADCA Publication, 2009.
- Niño Gordillo. F.A, Santander Moreno L., “Desarrollo de una metodología para la asignación de tolerancias en ensambles mecánicos para un proceso de ingeniería inversa”, Bogota: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, 2017.
- Norma “ASME Y14.5 Dimensioning and Tolerancing”, Washington DC: The American Society of Mechanical Engineers, 2018

- Norma “ASME Y14.5 Dimensioning and Tolerancing”, Washington DC: The American Society of Mechanical Engineers, 2009.
- Norma “ASME Y14.5 M Dimensioning and Tolerancing”, Washington DC: The American Society of Mechanical Engineers, 1994.
- Norma “IRAM 4515. Especificaciones geométricas de producto (GPS). Tolerancias geométricas. Tolerancias de forma, orientación, posición y alabeo”, Buenos Aires: IRAM, 2015.
- Norma “IRAM 4515. Tolerancias geométricas”, Buenos Aires: IRAM, 1978.
- Norma “IRAM 4522-1 Dibujo técnico. Engranajes. Vocabulario.”, Buenos Aires: IRAM, 1993.
- Norma “IRAM 4550 Dibujo técnico. Acotación y tolerancias funcionales”, Buenos Aires: IRAM, 1988.
- Norma “IRAM- ISO 9001 Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos, Traducción oficial, IDT.”, Buenos Aires: IRAM, 2015.
- Norma “ISO 286-1:2010 Geometrical product specifications (GPS) - ISO code system for tolerances on linear sizes - Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits”. Ginebra: ISO, 2010.
- Norma “ISO 286-2:2010 Geometrical product specifications (GPS) - ISO code system for tolerances on linear sizes Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts”, Ginebra: ISO, 2010.
- Norma “ISO 1101 Geometrical product specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Tolerances of form, orientation, location and run-out”, Ginebra: ISO, 2017.
- Norma “ISO IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”, Buenos Aires: IRAM, 2017.
- Pezzano. P.A, “Tecnología Mecánica - Metrología - Herramientas - Máquinas herramientas”, Tomo I y Tomo II, Buenos Aires: Librería y Editorial Alsina, 1970.
- Puncochar. D.E, Ken E., “Interpretation of Geometric Dimensioning and Tolerancing“, Connecticut: Industrial Press Inc., 2010
- Rank Taylor Hobson, “Optical Aligment”, 1976
- Sancho Rodenas. J, “Tolerancias Geométricas”, Barcelona: Tecnomesura, Print Mania S.L., 2007
- Sismondi. P, Bigot. A, “La Universidad y el Desarrollo Nacional en Metrología. Creación de la primera cátedra de Metrología en la UNL (1957)”, REP HIP UNR, Universidad Nacional de Rosario, Rosario: URI: <http://hdl.handle.net/2133/1948>, 2008
- Serope Kalpakjian. S, Schmid. S.R, “Manufactura, ingeniería y tecnología, Quinta edición”, Pearson Educación, 2008.
- Stoco. W.H, Vieira dos Santos. R, Lima. A, Torrezan. H.F, “ Qualidade dimensional: Estudo e aplicações do sistema GD&T no proceso de desenvolvimento de um producto”, XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil, 2016
- Suga. N, Manual de Metrología. “Introducción a la medición con exactitud”, México: Instituto de Mitutoyo América, Mitutoyo Mexicana S.A., 2014.
- Tandler. B, “What’s New in the ASME Y14.5 2009 Standard!” Multi Metrics Inc., <http://www.multimetris.com>, 2009.
- Trapet. E, Wäldele. F, “Aseguramiento de la calidad para máquinas de medir por coordenadas”, PTB, Madrid: Seminario en el Centro Español de Metrología, 1991.
- Valqui. A, Casaburi. G, Suaznabar. C, “Metrología 4.0: Desafíos de la transformación digital para la metrología de América Latina y el Caribe”, Washington D.C: BID, 2019.
- “VIM Vocabulario Internacional de Metrología: Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, 3ª edición 2012. Edición del VIM 2008 con inclusión de pequeñas correcciones, 3ª edición en español”, Madrid: Centro Español de Metrología, 2012

- Yan. Y, Bohn. M, “Limitations of notation system in centred part alignment accuracy imposed by ISO standard and proposal for an improved methodology”, Journal of Machine Engineering, Vol. 17, No. 2, 2017.

- Zeleny Vázquez. J.R, “Metrología dimensional 2 para Verificación Geométrica de Producto (VGP)”, Naucalpan, Instituto de Mitutoyo América, Mitutoyo Mexicana S.A., 2008.

**Páginas web:**

- 1) American Society of Mechanical Engineers, <https://www.asme.org/>
- 2) Bureau International des poids mesures, <https://www.bipm.org/en/about-us/>
- 3) Catálogo Completo “No. US-1004 Measuring instruments catalog”, Mitutoyo Sul Americana Ltda Argentina, Vicente Lopez, Bs.As. <http://www.mitutoyo.com.ar>
- 4) Coban engineering, <https://www.cobanengineering.com/>
- 5) Dibujo técnico.com, <http://www.dibujotecnico.com>
- 6) EE Publishers, <https://www.ee.co.za/>
- 7) Engineering essentials, <http://www.engineeressentials.com/>
- 8) Geometric drafting, <https://geometricdrafting.com/>
- 9) Geometric Learning Systems, <https://gdtseminars.com/>
- 10) GD&T Basics, <http://www.gdandtbasics.com>
- 11) HN Metrology Consulting, Inc., <https://www.hn-metrology.com/gpssystematic.htm>
- 12) Kotem, <https://kotem.com/>
- 13) Ingemecánica, <https://ingemecanica.com/>
- 14) International Organization for Standardization, <https://www.iso.org/home.html>
- 15) International Institute of Geometric Dimensioning & Tolerancing, <http://www.iigdt.com>
- 16) Institute for Geometrical Product Specifications, <https://www.ifgps.com/>
- 17) IRAM, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, <http://www.iram.org.ar/>
- 18) Iزارo Manufacturing Technology, <https://www.izaro.com/>
- 19) Orca creation, <http://www.orcacreation.com/>
- 20) Tec-ease Inc., <https://www.tec-ease.com/>

1		5		9		13		17	
2		6		10		14		18	
3		7		11		15		19	
4		8		12		16		20	



## Ing. Marcelo Iglesias

Ingeniero Mecánico (Universidad Tecnológica Nacional)

Especialista en Calidad Industrial (Maestría: INTI - UNSAM). Quality Systems Manager - EOQ (European Organization for Quality) Quality Systems Manager / IN - DGQ (Asociación Alemana para la Calidad). Quality Auditor - EOQ y Auditor ISO 9000 – DGQ. Evaluador de Laboratorios de Calibraciones y Ensayos ISO 25 UKAS (United Kingdom Accreditation Service). Evaluador de Sistemas de calidad de laboratorios de Calibración y Ensayos OAA (Organismo Argentino de Acreditación). Encargado de Gestión Ambiental – DGQ Asociación Alemana para la Calidad (Alemania). Facilitador UTN - Pacheco. Experto Técnico - OAA - Códigos: Ensayos físicos y mecánicos, materiales caucho, mecánico, automotrices y neumáticos. Experiencia laboral como director de laboratorios, metrólogo dimensional, laboratorista de ensayos mecánicos, consultor industrial y metrológico, auditor de sistemas de gestión, evaluador de laboratorios e implementador de sistemas de gestión según normas ISO 9001, ISO 17025, IATF 16949, innovación, industria 4.0 e investigador universitario. Evaluador internacional de pares en metrología dimensional (Peer Review). Docente universitario de las asignaturas Metrología, Sistemas Metrológicos, Ensayos y Metrología e Ingeniería de Calidad en UTN Pacheco. Director General de los laboratorios de Metrología y Ensayos - LABTEC en UTN FRGP, Laboratorio N°60 de la red INTI - SAC. Director Técnico del laboratorio de Metrología de LABTEC. Consejero Departamental Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica UTN FRGP.



**CiN REUN**  
Red de Editoriales  
de Universidades Nacionales  
de la Argentina

ISBN 978-987-4998-85-9

