
METROLOGIA DIMENSIONAL

CRITERIOS FUNDAMENTALES

INDUSTRIA MODERNA: procedimientos racionales de planificación y producción de grandes series

Producción de piezas en serie

grandes cantidades
iguales dimensiones
igual forma



Intercambiabilidad

Montaje al azar y reemplazo de piezas sin retoques ni ajustes, con economías de tiempo y de material

Reducción del costo

Piezas de recambio



CRITERIOS FUNDAMENTALES

No podrán fabricarse
piezas exactamente iguales



Valores Límites Admisibles
TOLERANCIA ($M_{\text{máx}} - M_{\text{mín}}$)

Imprecisiones
procesos productivos
mediciones

Condiciones de funcionamiento
Grado de precisión requerido
Condiciones de montaje
Costo
Valor nominal de la cota
Intercambiabilidad

CRITERIOS FUNDAMENTALES

FABRICACIÓN: Planos - Construcción - Medidas reales



MEDICION

PROPÓSITO BÁSICO DE LA METROLOGÍA DIMENSIONAL: verificar que las piezas fabricadas cumplan con las especificaciones de diseño indicadas en los planos (medida nominal – tolerancia de fabricación)

MEDICIÓN DIMENSIONAL: proceso por el cual se determina el valor numérico de una magnitud lineal o angular de un componente o conjunto mecánico

MÉTODO DE MEDICIÓN - INTERCAMBIABILIDAD - COSTO

Método de medición

Emplear Instrumentos y procedimientos adecuados
Evitar reiteraciones exageradas, condiciones de operación y ambientales incorrectas

Intercambiabilidad

Una técnica de verificación o medición bien organizada permite que las piezas, tengan similar eficiencia en su funcionamiento.

Costo y tiempo de medición

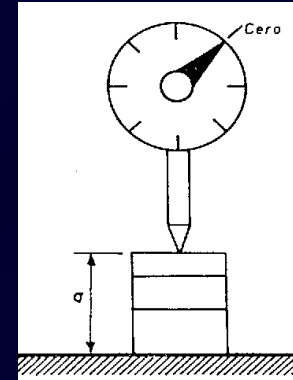
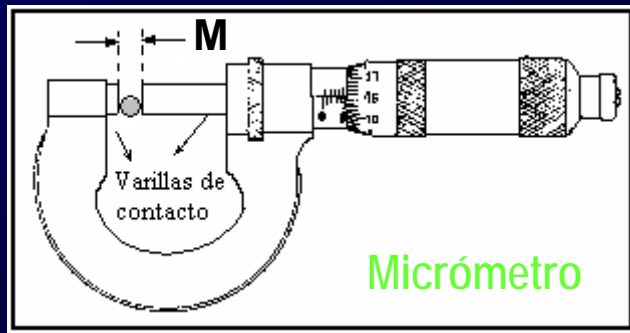
- ↑ Piezas de mayor precisión requieren una medición mas precisa
- ↓ Métodos e instrumental automatizados o calibres fijos de comprobación
- ↓ Deberán minimizarse el número de calibres

Exactitud de la medición

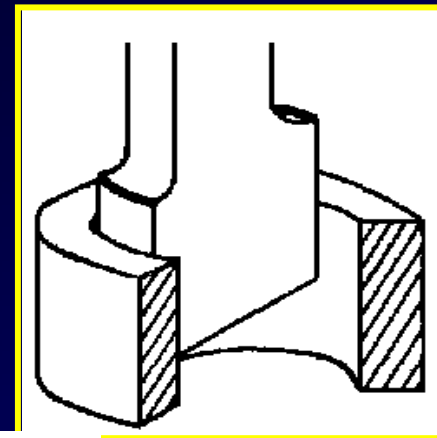
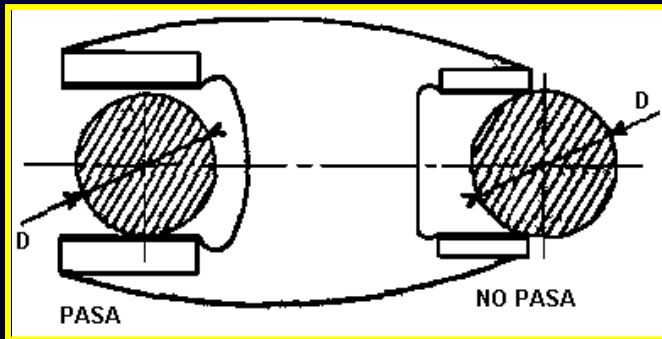
Influyen las características de:
la pieza
el aparato de medición
las condiciones ambientales
el operador

CONCEPTO DE MEDICIÓN

1. Medición: Consiste en la determinación numérica de una magnitud lineal o angular (M), o también, si una medida es mayor o menor que un valor numérico dado (a).



2. Medir es comparar una magnitud determinada con otra de la misma especie. Involucra además el concepto de verificar.



Calibres Pasa-No pasa

CONCEPTO DE MEDICIÓN

Se aplica a otras características geométricas, como:

- Defectos de forma: conicidad, planedad, etc.
- Defectos de posición: paralelismo, concentricidad etc.
- Rugosidad

Así como, no es posible mecanizar una pieza con dimensiones exactamente iguales a las indicadas en el plano o entre sí

No es posible efectuar una medición sin errores.

¡¡ La suma de los errores de medición deberá ser suficientemente menor que la diferencia admisible entre la dimensión de la pieza y la indicada en el plano !!

MEDICIÓN - GENERALIDADES

Selección del instrumento de medición

Factores a tener en cuenta

- Magnitud a medir: longitudes, ángulos, roscas, etc)
- Material y mecanizado de la pieza
- Tipo de superficie (planas, cilíndricas, esféricas, etc
- Superficies interiores o exteriores
- Tamaño de la cota
- Precisión requerida en la medición
- Tamaño del lote
- Lugar de medición: Taller o laboratorio

Tipo de magnitud

Longitudes
ángulos
planos
formas especiales (roscas, engranajes, etc.)
perfiles macrogeométricos
perfiles microgeométricos (rugosidad), etc.

MEDICIÓN - GENERALIDADES

Medición directa

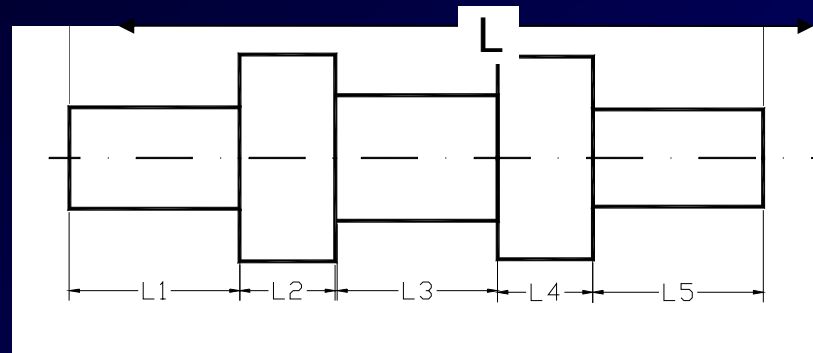
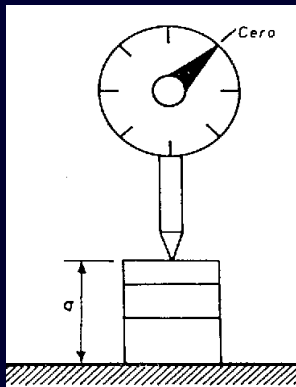
- El instrumento con una escala graduada se ubica sobre la pieza (pie de rey, etc.)
- La medida puede leerse directamente

Medición indirecta

- a) por comparación: El instrumento con una escala graduada se calibra con una pieza patrón de magnitud conocida:

La medida se obtiene mediante cálculo: medida del patrón + lectura obtenida en la escala

- b) *La medida se obtiene como resultado de una serie de mediciones que finalmente se suman, restan, etc.)*

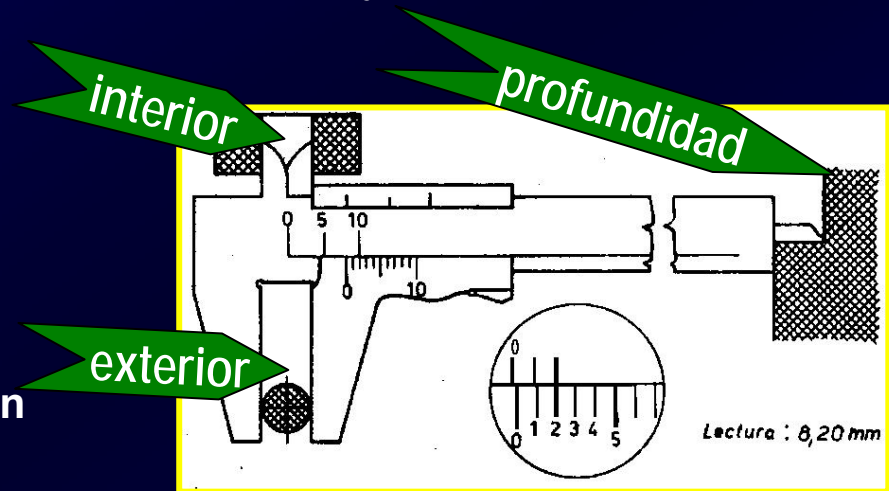


ERRORES DE MEDICIÓN

Precisión en la medición ↔ aptitud de los instrumentos, factores personales, temperaturas y materiales de la pieza y el instrumento.

EJEMPLO: medición con calibre

- Calidad de fabricación del calibre
- Instrumento de control o calibración
- Error de medición de dicho control
- Desgaste y estado general del calibre
- Deformación elástica de la pieza y el calibre debido a la presión en el contacto
- Apertura elástica del calibre, debido a la presión en el contacto
- Variación de las dimensiones por efecto de la temperatura
- Error de contacto: debido a una capa de aire o lubricante.
- Error personal (vista, tacto, capacitación insuficiente)



ERRORES DE MEDICION

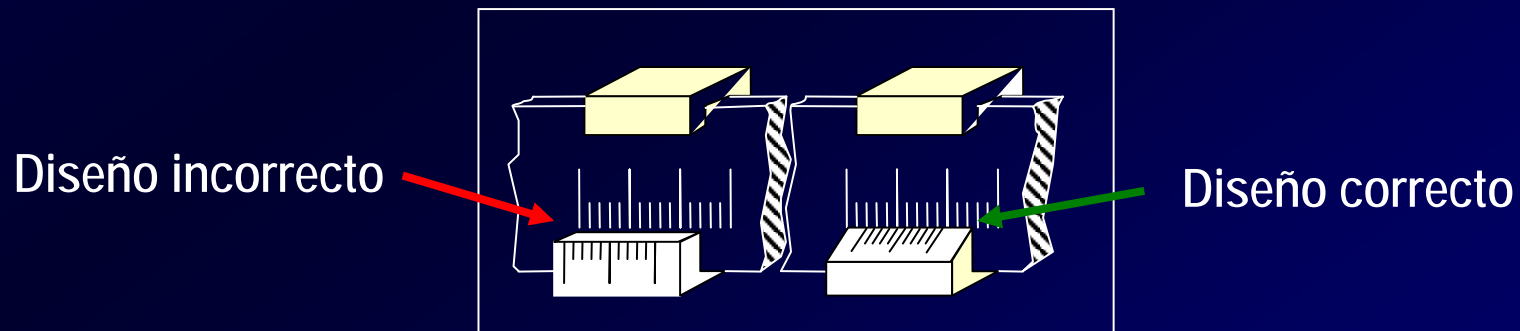
Causas de error:

- **El instrumento:** defectos constructivos, desgaste por el uso, deformaciones,
- **Influencias físicas:** presión atmosférica, humedad, temperatura, y polvo.
- **El operador:** agudeza visual, tacto, serenidad, salud e inteligencia

Errores del instrumento

Error de graduación: Defectos de escala. Defecto de cero (compensable si es conocido)

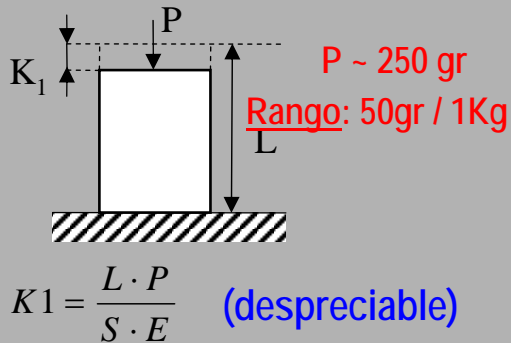
Defectos de paralaje: se reducen con apropiado diseño y ubicación relativa de las escalas, forma de la aguja indicadora, espejos de reflexión, etc.



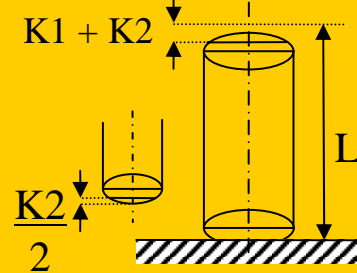
Errores del instrumento

Deformaciones elásticas: que sufre la pieza por efecto de la presión de contacto

Aplanamiento general (K1)

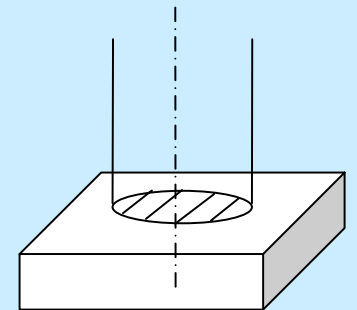


Deformación local (K2) (Contacto plano, lineal o puntual)

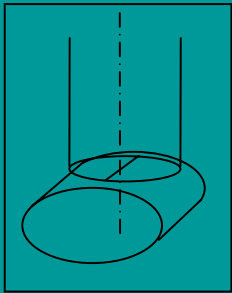


Aplastamiento total = $K1 + K2$

Contacto plano



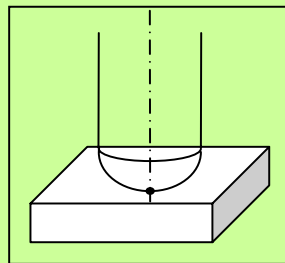
Contacto lineal



$$K2 = 0.00092 \frac{P}{L} \sqrt{\frac{1}{D}}$$

P: carga
 L: Longitud
 D: Diametro

Contacto puntual (> deformación)

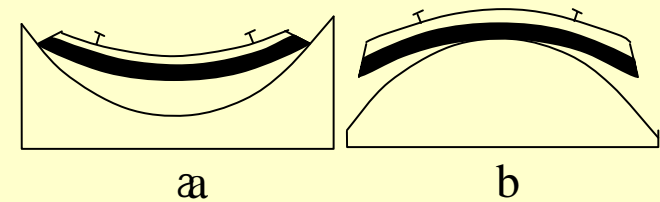


$$K2 = 0.0014 \sqrt[3]{\frac{P^2}{r}}$$

P: presión
 r: radio de curv.

Flexión - Torsión

Por el peso de la pieza o del instrumento



Los nervios de refuerzo no son suficientes p/ dimensiones > 600x400mm

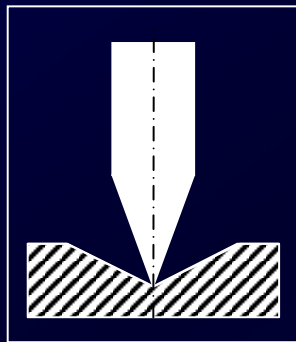
Errores del instrumento

Deformaciones permanentes : causadas por desgaste o envejecimiento

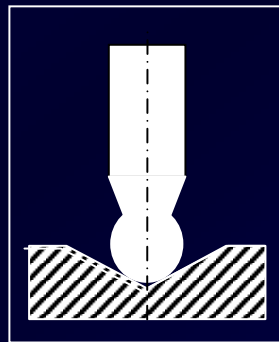
- **Desgaste**: > importancia en los calibres fijos (límite de desgaste).
En otros instrumentos: desgaste en sup. de contactos, de guiado, y otros mecanismos
- **Envejecimiento**: Cambios microestructurales que producen cambios de volumen. Deben efectuarse tratamientos de envejecimiento artificial. > importancia en bloques patrón y mármoles.

Defectos y holguras de articulación

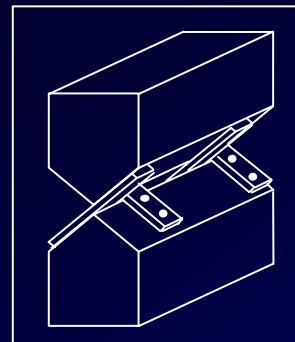
Los juegos que producen errores de lectura se compensan con resortes
En acoplamientos con amplitud de giro pequeña: cuchillas y pivotes esféricos



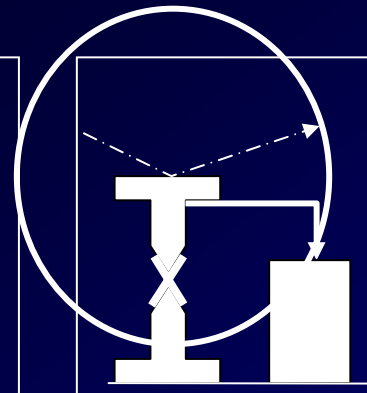
Cuchillas



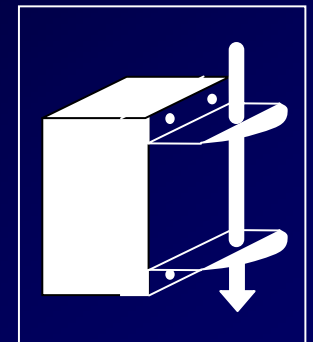
Pivote esférico



Láminas resorte
en cruz



Láminas resorte
en cruz
(comparador)



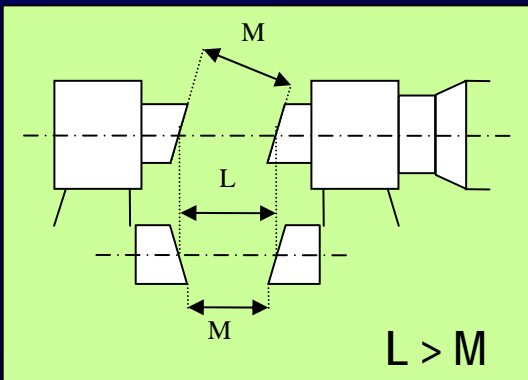
Paralelogramo
flexible

Errores del instrumento

Defectos de rectitud y de forma : toman mayor relevancia en los siguientes instrumentos

Micrómetro

por defectos del tornillo o falta de // entre contactos

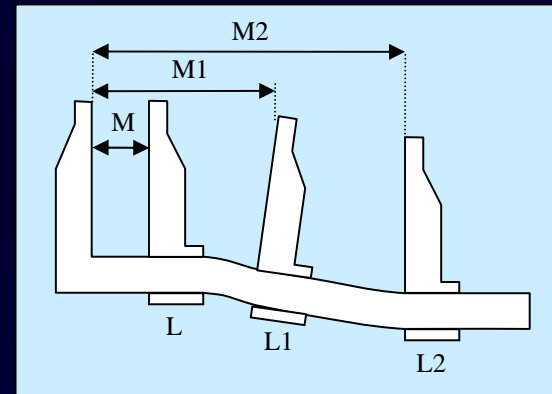


M: medida del instrumento

L: Medida del instrumento s/ defecto

Pie de rey

Mordazas no // (torcidas o con juego)



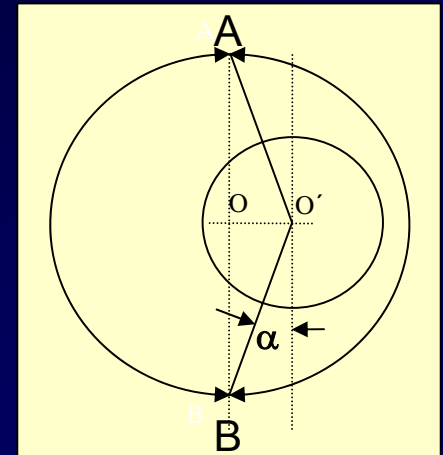
Comparadores tipo reloj: defectos en el paso y concentricidad de engranajes

Para un engranaje de 50mm: Si $O\acute{O}'=0,1\text{mm} \Rightarrow \alpha=6,87 \text{ min}$,

Diferencia entre los recorridos AB en sentido horario y antihorario=13,75 min

Goniómetro:

Para un diámetro de 50mm, una excentricidad de 0,004mm provoca un error angular de 1 min



Errores de medición personales

Son inevitables, pero pueden disminuirse con la práctica.

Principales factores: Agudeza visual, tacto, sensibilidad, cansancio e inexperiencia del operador.

Error de lectura: Al leer la dimensión sobre la graduación del aparato

Poder separador del ojo: está limitado a distancias de 0,1mm. Deben emplearse amplificadores ópticos: lupas (2 a 5 aumentos), microscopios (10 a 80 aumentos)

Paralaje: El operador debe mirar el índice en dirección perpendicular a la escala o graduación.

Tacto: Deberá minimizarse el esfuerzo de contacto pieza-instrumento para mejorar la sensibilidad táctil y reducir las deformaciones elásticas.

Es recomendable:

- Reducir el peso de los instrumentos
- Emplear instrumentos con dispositivos que provean una presión de contacto constante (Ej. Trinquete del micrómetro).
- La pieza debe ubicarse y sostenerse en una posición adecuada. Si el contacto con el instrumento se efectúa utilizando superficies de referencia, la agudeza visual y el tacto tendrán < influencia.

Errores de medición personales

Inercia de las partes móviles desplazadas a velocidad variable:

La excesiva rapidez en el desplazamiento del contacto móvil del instrumento (palpador o pata de medición), produce lecturas por defecto sobre piezas macho, y por exceso en las piezas hembras.

Ej: Micrómetro: deformación elástica del arco cuando se supera la presión recomendada.

Defectos de posición. Cuando:

- Las referencias son vagas o contradictorias. Ej. la medición de interiores con micrómetro requiere una gran habilidad personal
- La técnica es deficiente. Ej: medición de exteriores con micrómetro

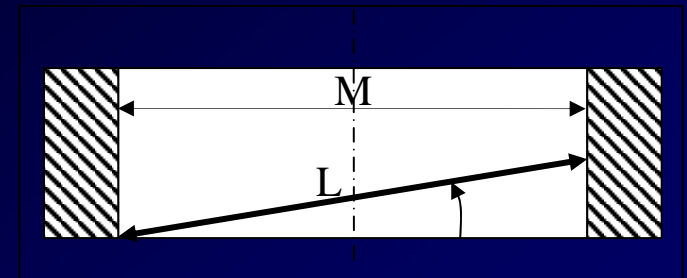
Medida interior no perpendicular al eje:

L = lectura del instrumento (medición incorrecta)

M = medida correcta

α = inclinación del instrumento con respecto a la normal al eje de la pieza.

$$\underline{M = L \cdot \cos \alpha}$$



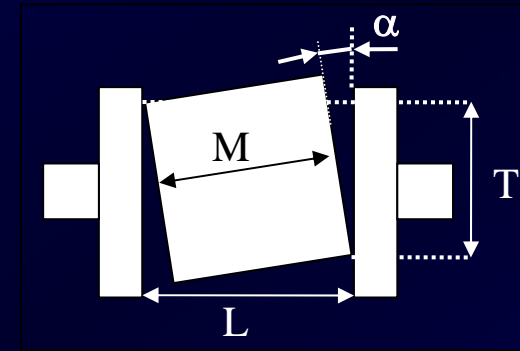
Para $L = 100 \text{ mm}$ y $\alpha = 1^\circ$ será $M = 99,985 \text{ mm}$

Errores de medición personales

Medida exterior no perpendicular al eje:

$$L = \frac{M}{\cos \alpha} + T \cdot \operatorname{Tg}(\alpha)$$

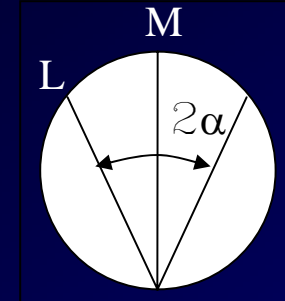
$$M = L \cdot \cos \alpha - T \cdot \operatorname{sen} \alpha$$



Para $L = 100 \text{ mm}$ $\alpha = 1^\circ$ y $T = 10 \text{ mm}$ resulta $M = 99,810 \text{ mm}$

Medida interior no diametral

$$M = \frac{L}{\operatorname{Cos}(\alpha)}$$



Para $L = 100 \text{ mm}$ $\alpha = 1^\circ$ y $T = 10 \text{ mm}$, resulta $M = 100,015 \text{ mm}$

Otras posibles fuentes de error: Tomar cifras enteras o efectuar redondeos (las medidas obtenidas por el operador son del orden de las centésimas o milésimas)

Recomendaciones: Las medidas consideradas importantes deben repetirse con diferentes elementos de medición. La comparación resultante reduce los errores.

Errores del por influencias físicas

- Polvo y partículas de óxido: interpuestas en las zonas de contacto
- Presión y humedad: despreciables en ambientes industriales
- Temperatura: Efecto por diferencia entre las dilataciones del instrumento y de la pieza.

Efecto de la temperatura

Se adopta una temperatura de referencia internacional de 20°C.
Las cotas de las piezas indicadas en el plano corresponden a esa temperatura

Ocurre si la temperatura de la pieza y/o del instrumento son $\neq 20^\circ\text{C}$

Fuentes de calor: Iluminación artificial, radiación solar, calefacción, manipuleo, calentamiento durante el mecanizado.

Dilatación lineal:

$$L_t = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

Siendo L_t = longitud de un sólido a la temperatura t °C
 L_0 = longitud del mismo sólido a 0 °C
 α = coeficiente de dilatación térmica del sólido
 $\Delta t = t - 20$, aumento de temperatura, se tendrá:

$$\alpha = \frac{\Delta \text{alargamiento del sólido para } 1^\circ\text{C}}{L_0 \text{ longitud del sólido a } 0^\circ\text{C}}$$

Efecto de la temperatura

En la práctica el cálculo del incremento de longitud sobre L_0 no es aplicable, puesto que en general el valor de L_0 ($T=0^\circ\text{C}$) es desconocido

Reemplazando L_0 por L_{20} el error que se comete es despreciable:

Resulta así:

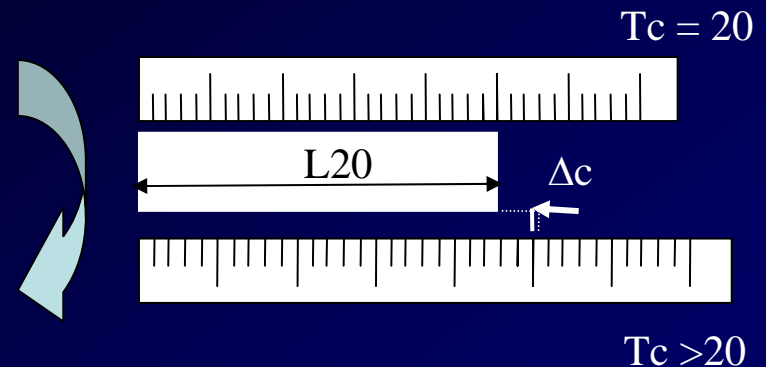
$$L_t = L_{20} + L_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta t = L_{20} (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

Corrección de las medidas

CASO 1: La pieza a 20°C , el instrumento de escala (pie de rey, etc), a temperatura $t_c \neq 20^\circ\text{C}$

- La lectura es por defecto cuando $t_c > 20^\circ\text{C}$
- La lectura es por exceso, cuando $t_c < 20^\circ\text{C}$

Δc = corrección a efectuar sumándola al valor leído



Efecto de la temperatura

CASO MAS GENERAL: Materiales y temperaturas distintas para el instrumento y la pieza

t_p = temperatura de la pieza

t_c = temperatura del instrumento

L_p = longitud de la pieza a t_p

L_I = longitud de la pieza leída en el instrumento

L_{20} = longitud de la pieza a $20\text{ }^\circ\text{C}$

α_p = coeficiente de dilatación de la pieza

α_c = coeficiente de dilatación del instrumento

Δp = incremento de la pieza a $t_p = L_{20} \cdot \alpha_p (t_p - 20)$

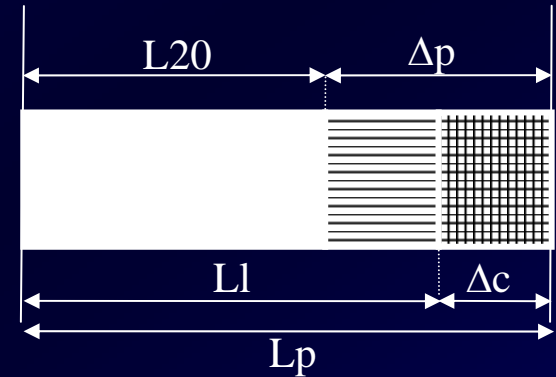
Δc = incremento del instrumento a $t_c = L_{20} \cdot \alpha_c (t_c - 20)$

$$L_p = L_{20} + \Delta p \quad \text{y} \quad L_I = L_p - \Delta c$$

$$L_{20} = L_I - \Delta p + \Delta c$$

Para t_p y $t_c > 20^\circ\text{C}$: Δp y Δc son positivos

Los problemas que se plantean son: hallar L_{20} , L_p ó L_I



Material	α
Acero al C	$11,5 \times 10^{-6}$
Cobre	17×10^{-6}
Aluminio	23×10^{-6}

Para evitar correcciones, al medir piezas de material ferroso con instrumentos de acero, conviene dejar la pieza y el instrumento durante el tiempo necesario para igualar sus temperaturas a la del ambiente en que se hallan (puede ser temp ambiente distinta a 20°C).

ERRORES SISTEMÁTICOS Y ALEATORIOS

Errores sistemáticos: Se deben a imperfecciones del aparato de medida o al principio mismo de medición

Son constantes, en valor absoluto y signo,

Se obtienen mediante contraste frecuente del instrumento al medir repetidamente una magnitud en las mismas condiciones, mismo operador y laboratorio. Está afectada por la incertidumbre propia del método utilizado.

Pueden eliminarse

Corrigiendo el resultado de la medida: sumando o restando el error (negativo o positivo) al valor leído

➤ Ejemplo: una regla graduada con divisiones muy separadas o un defecto de cero.

ERRORES SISTEMÁTICOS Y ALEATORIOS

Errores aleatorios: Debidos a características del diseño y deficiencias de fabricación del instrumento y a la fluctuación sensorial del operador (vista, tacto, pulso).

Se obtiene mediante contraste frecuente del instrumento al medir repetidamente una magnitud en las mismas condiciones, mismo operador y laboratorio

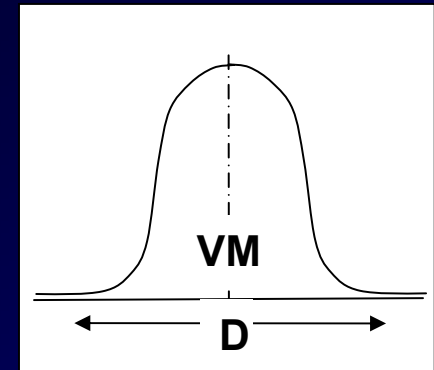
Varían de forma imprevisible, en valor absoluto y signo

Presentan cierta dispersión y se agrupan alrededor del valor medio (VM) del intervalo de dispersión (D). "Pueden computarse estadísticamente"

No pueden eliminarse

La medida no podrá corregirse, pues son puramente aleatorios

Se reducen al aumentar el número de observaciones.



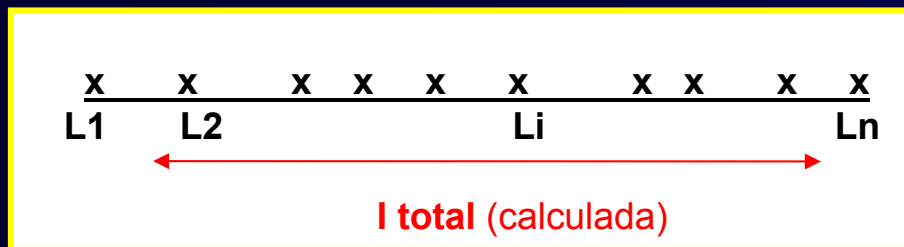
Nunca se conocerá el VALOR VERDADERO de la medida (convencionalmente aceptado)

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN (I)

- Representa la indeterminación de una medida (errores aleatorios)
- Es imprescindible considerar su magnitud en toda medida de precisión
- Si el valor medio de repetidas mediciones sobre una misma magnitud es \bar{L} , el resultado de la medición es:

$$L = \bar{L} \pm I/2$$

- Supone una distribución simétrica, respecto del valor más probable \bar{L} (aceptado para la mayoría de las mediciones)
- La incertidumbre I es la amplitud total del intervalo ($\bar{L} - I/2$ a $\bar{L} + I/2$)



- **CABE ESPERAR QUE EL VALOR VERDADERO DE LA MAGNITUD L SE ENCUENTRE DENTRO DEL INTERVALO I**

INCERTIDUMBRE DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Su determinación

➤ **Control del Instrumento:** Serie de mediciones sobre patrones de alta precisión, conforme a normas de calibración.

➤ **Cálculo de Incertidumbre:** Según la Guía para la expresión de la incertidumbre de medición Ed. ISO/TAG WG 3, 1993.

Factores de I: el desvío estándar de los resultados del control, la incertidumbre de los bloques patrón, la aproximación del instrumento, error de paralelismo y planedad de los contactos, la temperatura, etc.

➤ Expresión de incertidumbre (Precisión, Accuracy):

$$\text{Incertidumbre} = \pm I/2 \quad (I/2 : \text{semi-intervalo de } I)$$

➤ Las lecturas efectuadas sobre la pieza patrón tienen una distribución centrada alrededor de la media aritmética, y su dispersión es $\pm I/2$. (distribución de Gauss)

EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Incertidumbre (Precisión, Accuracy) $I = \pm I/2 \mu\text{m}$

Se presenta en distintos formatos:

1- Con un valor constante en micrones:

Ejemplo: $I = \pm 20 \mu\text{m}$

2- Más comúnmente

Ejemplo: $I = \pm (2 + L/75) \mu\text{m}$

L: Longitud que se mide, en milímetros.

Los valores 2 y 75 son valores característicos para un instrumento dado.

La I del instrumento es siempre menor que la I de medición de una pieza con el mismo instrumento (método más riguroso)

EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

EJEMPLOS

Nº	Descripción	Campo de Medida (mm)	Aproximación (mm)	Incertidumbre (micrones)
1	Micrómetro de Ext. c/ comparador	0-25	0.001	$\pm(1+ L[\text{mm}]/ 75)$
2	Micrómetro p/Exteriores	0-25	0,01	$\pm(2+ L[\text{mm}]/ 75)$
3	“ “ “	25-50	“	“
4	“ “ “	50-75	“	“
9	Micrómetro p/Exteriores Digital	150-300	0,001	$\pm(4+ L[\text{mm}]/ 75)$
10	Micrómetro p/ Interiores	25-50	0,01	± 5
11	Micrómetro p/ Interiores de varillas	50-1000	0,01	$\pm(4+ N^{\circ}V+ L / 50)$
12	Micrómetro de profundidad	0-100	0,01	$\pm(2+ L[\text{mm}]/ 75)$
13	Micrómetro p/roscas	0-25	0,01	$\pm(2+ L[\text{mm}]/ 75)$
14	Micrómetro de ranuras	0-25	0,01	$\pm(2+ L[\text{mm}]/ 75)$
15	Pie de Rey	150	0,02	$\pm(25+0,02 L[\text{mm}])$

CARACTERISTICAS DE UN INSTRUMENTO DE MEDICION

Incertidumbre: intervalo entre valores límites de lectura al medir una magnitud real y constante.

Precisión: aptitud del instrumento para suministrar resultados con el mínimo error \neq incertidumbre.

Fiabilidad (Repetitividad): aptitud del instrumento para indicar la misma dimensión cuando se repite una medida sobre la misma dimensión real y constante.

Sensibilidad Absoluta (Amplificación): aptitud para “ver grande” una pequeña variación de magnitud

$$s_a = \frac{\Delta I}{\Delta M} = \frac{\text{variación de la indicación}}{\text{Variación de la magnitud}}$$

(una mayor sensibilidad no es equivalente a una mayor precisión)

Umbral de sensibilidad: Es la menor variación de magnitud capaz de modificar la condición de equilibrio o de reposo del índice

Aproximación: Es la menor fracción de una determinada magnitud lineal o angular que puede medirse con el instrumento

Campo de medida: Es el rango de valores que se puede medir

UNIDADES DE MEDIDA

- En el Sistema métrico decimal la Unidad de medida es el metro (m)
- En la construcción de máquinas se emplea el milímetro (mm)
- El Sistema de Ajuste y tolerancia internacional ISO adopta el micrón (μm)

$$1 \mu\text{m} = 1 \text{ micrón} = 0,001 \text{ mm}$$

- En países de habla inglesa se emplea la pulgada

$$1'' = 25,399959 \text{ mm (inglesa)}$$

$$1'' = 25.400005 \text{ mm (americana)}$$

Internacionalmente, se adopta la pulgada americana: $1'' = 25,4000$ exactos (a $20 \text{ }^\circ\text{C} = 68 \text{ }^\circ\text{F}$).
Permite transformar la pulgada en milímetros sin dificultad, facilitando la intercambiabilidad.

Como fracciones se emplean los submúltiplos: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$, $\frac{1}{64}$, $\frac{1}{128}$ de pulgada.

Sistema mixto: La pulgada como unidad y fracciones del centésimo hasta el diezmilésimo de pulgada y el millonésimo para tolerancias finas.

TOLERANCIA DE FABRICACION

intervalo entre los valores límites admisibles

No debe afectar:

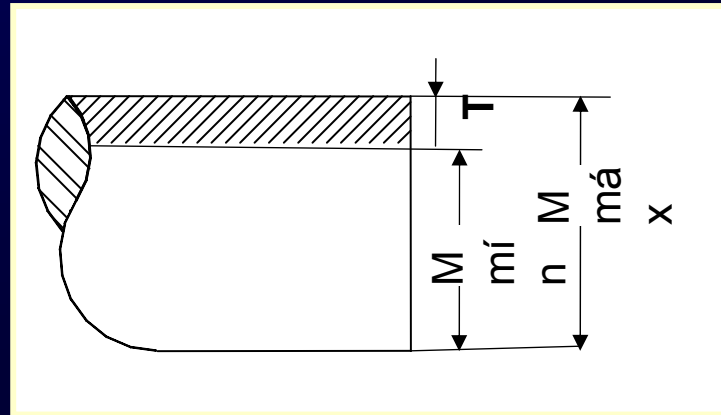
- la funcionalidad
- vida útil
- intercambiabilidad

En los planos se indicarán los valores nominales y las tolerancias:

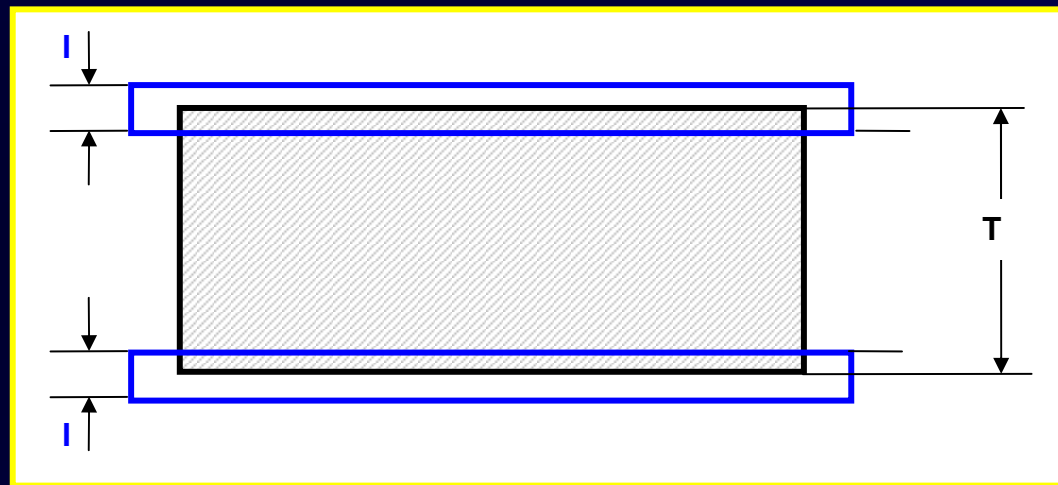
- Tolerancias dimensionales
- Tolerancias geométricas de forma y de posición
- Especificaciones de rugosidad

TOLERANCIA - INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

$$T = M_{\text{máx}} - M_{\text{mín}}$$



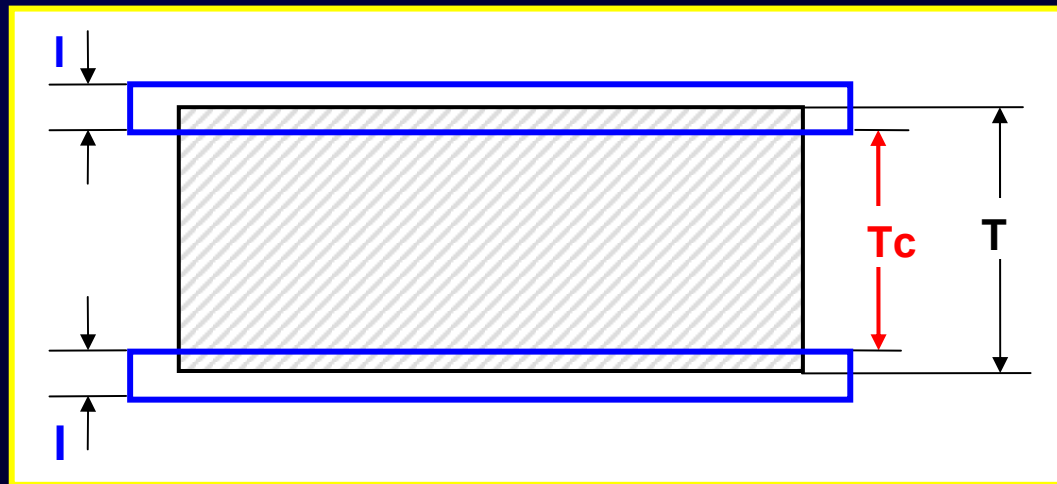
Si el valor numérico de la medición es muy cercano a $M_{\text{máx}}$ y $M_{\text{mín}}$, el valor verdadero podría estar fuera de tolerancia.



TOLERANCIA CORREGIDA

Tolerancia corregida (T_c): Es el valor que resulta de disminuir la tolerancia de fabricación (T) en la incertidumbre (I) del instrumento de medición

$$T_c = T - I$$



T_c representa el rango de medidas admisibles para las piezas que serán aceptadas como buenas.

SELECCIÓN DEL INSTRUMENTO

REGLA DE ORO DE LA METROLOGÍA

➤ **Primera tendencia:** adoptar instrumentos de la máxima exactitud

➤ **Segunda tendencia:** reflexionar sobre los costos y deterioro del instrumento,



elegir uno mas económico, generalmente de menor exactitud.

➤ El acuerdo entre estas dos tendencias opuestas se resume en:



REGLA DE ORO DE LA METROLOGÍA

“ El instrumento debe tener una incertidumbre del orden de 1 décimo del error tolerado en la pieza a controlar” , o:

$$T / I \leq 10$$

REGLA DE ORO DE LA METROLOGÍA

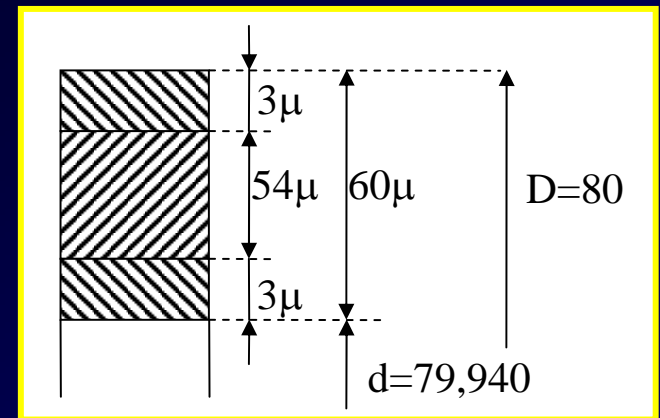
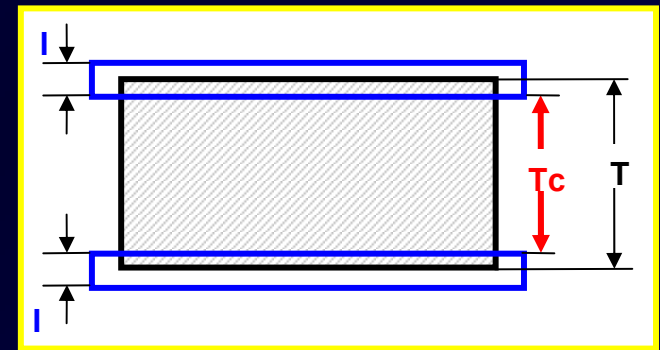
EJEMPLO:

Eje: $D_{\text{máx}}=80,0$ y $d_{\text{mín}}=79,940\text{mm}$ ($T = 60$
 μm)

Instrumento de: $I = \pm 3\mu\text{m}$ ($\sim 0,1 T$)

La tolerancia a cumplir por el operario T_c
se reduce de 60 a $54\mu\text{m}$ ($\sim 10\%$)

↑ La dificultad de fabricación y el % de
rechazos, ↓ la intercambiabilidad



Será razonable entonces, aplicar la relación $I \leq T/10$??

REGLA DE ORO DE LA METROLOGÍA

Esta regla se traduce en que:

- La incertidumbre del instrumento debe restarse a la tolerancia de la pieza
 - La tolerancia asignada a la pieza se reduce, evitando que piezas “malas” se acepten como “buenas”,
 - Aumentan los rechazos y el costo de la producción pues pueden rechazarse piezas buenas
-

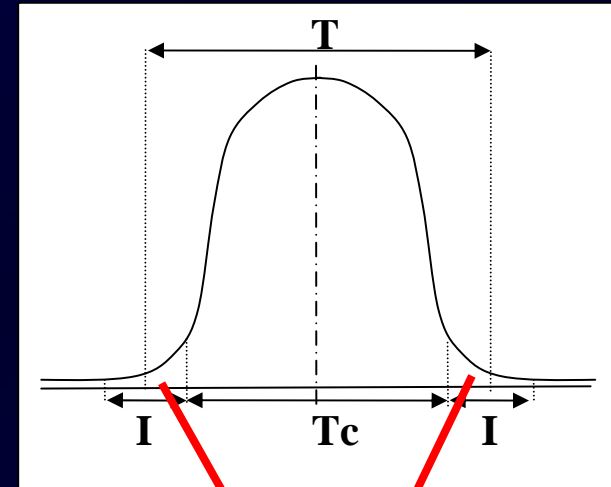
REGLA DE ORO DE LA METROLOGÍA

Análisis técnico-económico

La distribución estadística de las discrepancias en las medidas de las piezas producidas en serie, responde típicamente a una curva normal de Gauss

Con la aplicación de la relación $T / I = 10$:

El número de piezas “buenas” rechazadas, es muy inferior al 10% del total de piezas producidas



Piezas “buenas” rechazadas
~ 1%

El instrumento preciso, elegido con la regla de oro, será rápidamente amortizado

Un instrumento mas preciso, ↓ los retoques y los rechazos, ↑ la fatiga del operario

REGLA GENERALIZADA DE LA METROLOGÍA

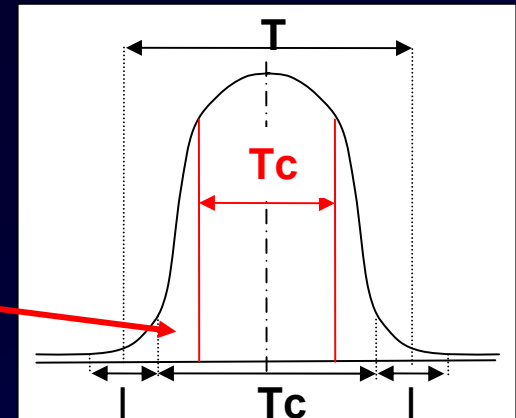
Con tolerancias muy estrechas, es difícil o imposible cumplir con la relación $T/I \leq 10$. En esos casos, se admite que:

$$3 \leq T/I \leq 10$$

Para $T/I \sim 3$:

↓ el costo del instrumento

↑ el rechazo de piezas correctas pues disminuye T_c



Procesos muy precisos (baja T), presentan una distribución concentrada y muy baja dispersión:

con relaciones $T/I \sim 3$

es bajo el % de rechazos

