

Tecnología Mecánica

Unidad N° 2

Metrología - Normas de dimensionamiento - Rugosidad

Roberto Driussi/Martín Alarcón/Fernando Nadalich



2 de abril de 2024

Índice

- 1** **Introducción**
 - Metrología
 - Características a medir
- 2** **Métodos e Instrumentos de medición**
 - Métodos de medición
 - Instrumentos de medición
 - Medición comparativa
 - Análisis en tiempo real
 - Medición de coordenadas
- 3** **Calibres fijos**
 - Calibres PASA y NO PASA
- 4** **Tolerancias**
 - Normas de referencia
 - Sistema de ajuste
 - Calidad
 - Formas de indicarla
- 5** **Rugosidad superficial**
 - Definiciones
 - Desviaciones superficiales
 - Expresión de la rugosidad
 - Medición
 - Clases de rugosidad
 - Indicación de la rugosidad

Definición (Metrología)

Estudia todo lo relativo a normas de dimensionamiento. Como realizar mediciones y control de medidas. Que elementos de medición utilizar y su caracterización.

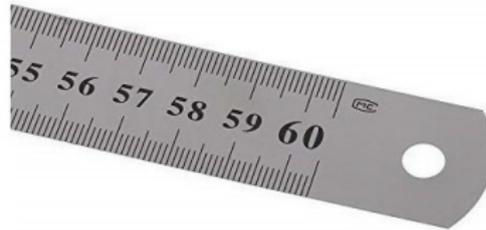
Para realizar mediciones se utilizan elementos o instrumentos de medición, donde cada uno de estos tiene su propia aplicación, resolución y precisión:

- 1** Resolución: es la menor diferencia en dimensiones que un instrumento de medición puede detectar o distinguir.
- 2** Precisión: es el grado con el cual un instrumento da mediciones repetitivas del mismo patrón.

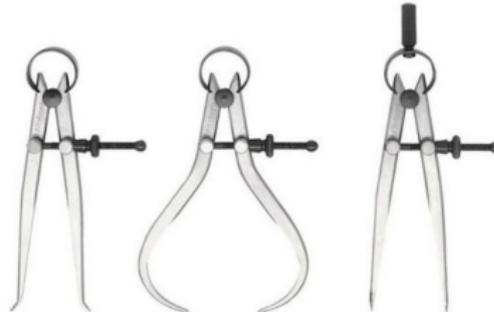
En los diferentes producto obtenidos por los diversos procesos de manufactura, se requiere medir:

- Longitud
- Diámetros
- Redondez (concentricidad y excentricidad)
- Profundidad
- Rectitud
- Paralelismo
- Perpendicularidad
- Ángulos
- Perfiles

- 1 Medición directa. El instrumento tiene escala graduada.



- 2 Medición indirecta. No tiene una escala graduada.



Instrumentos de medición

Para medir longitud, diámetro y profundidad:

- Regla graduada



- Calibre



Instrumentos de medición

Para medir longitud, diámetro y profundidad:

- Micrómetro o tornillo



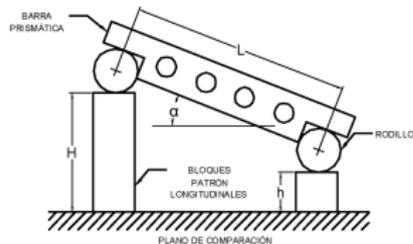
Instrumentos de medición

Para medir ángulos:

- Escuadra ajustable



- Regla de senos

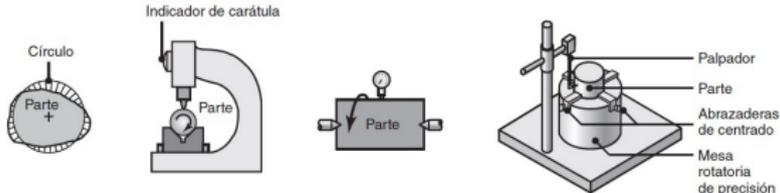
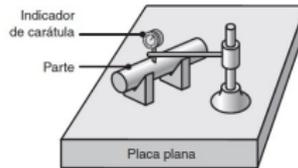
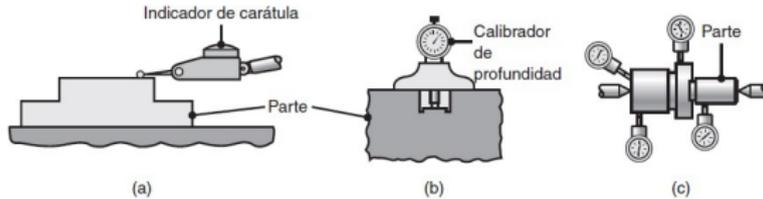


Comparadores

Reloj comparador: son instrumentos para medir longitudes comparativas.



Aplicaciones de los comparadores

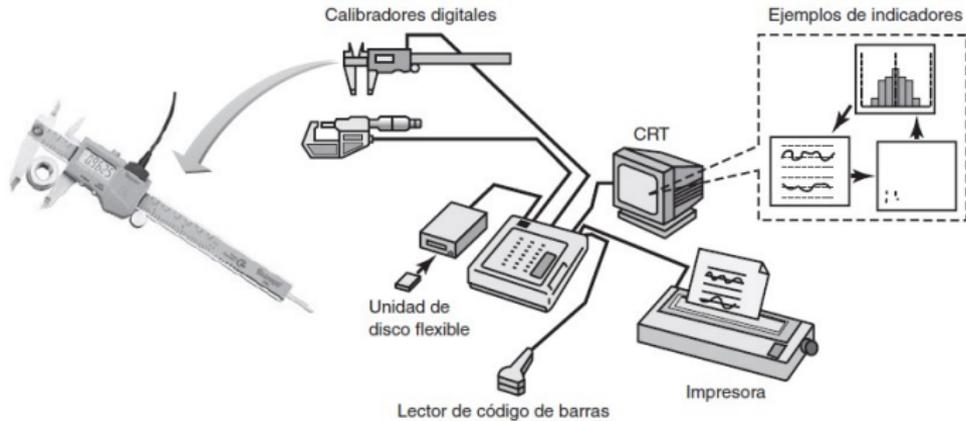




(a)



(b)





Calibres fijos

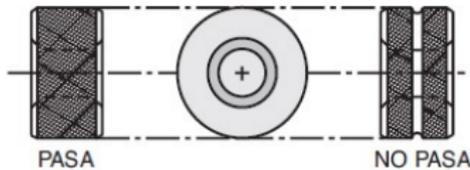
Estos calibres son réplicas de las formas de las partes por medir.



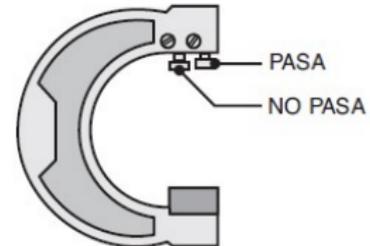
(a)



(b)



(c)



(d)

Normas de referencia:

- ISO 286 (Sistemas ISO de tolerancias y ajustes)
- IRAM 5001-5002-5003-5004 (Ajustes y Tolerancias)

Normas de referencia:

- ISO 286 (Sistemas ISO de tolerancias y ajustes)
- IRAM 5001-5002-5003-5004 (Ajustes y Tolerancias)

Definiciones fundamentales:

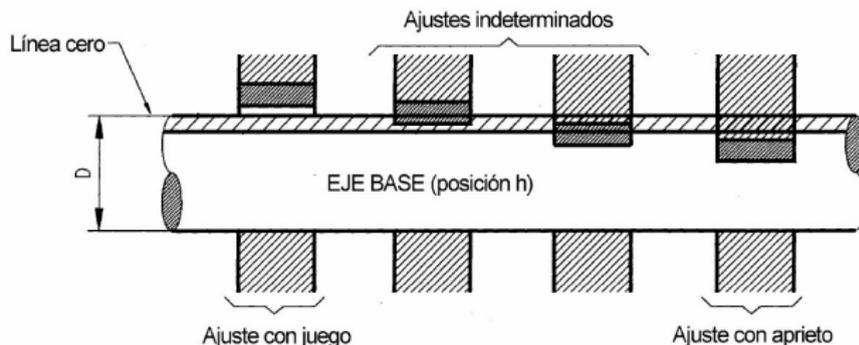
- *Dimensiones:*
 - Real: es la de la pieza una vez construida (D).
 - Límites: indican la zona dentro de la cual estará la dimensión real.
 - Máxima: es la mayor de las dimensiones límites (D_{max}).
 - Mínima: es la menor de las dimensiones límites (D_{min}).
 - Nominal: es la dimensión teórica o de referencia (D_N).

Definiciones fundamentales:

- *Discrepancias o diferencias*: es la diferencia algebraica entre una dimensión real, máxima o mínima y la nominal.
 - Real: $\Delta_R = D_R = D - D_N$
 - Superior: $\Delta_S = D_S = D_{max} - D_N$
 - Inferior: $\Delta_I = D_I = D_{min} - D_N$
- *Línea de cero o referencia*: es el eje a partir del cual se valorizan las discrepancias. Se consideran positivas las que se sitúan por encima y negativas las situadas por debajo.
- *Tolerancia*: es la diferencia entre la dimensión máxima y la mínima (T).

Sistema de eje único (SEU)

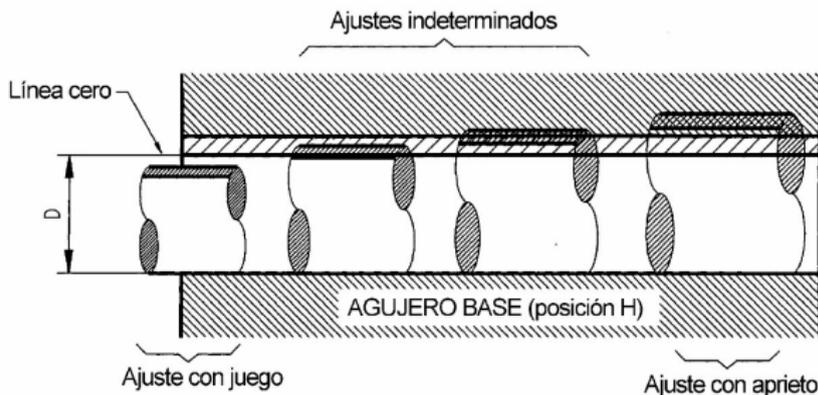
Toma como elemento base el EJE, siendo común para todos los agujeros que se fabriquen. El punto de origen para este sistema es la medida máxima del eje que coincide con la nominal.



$$D_{max_e} = D_N \wedge \Delta_{S_e} = 0 \wedge \Delta_{I_e} = T_e$$

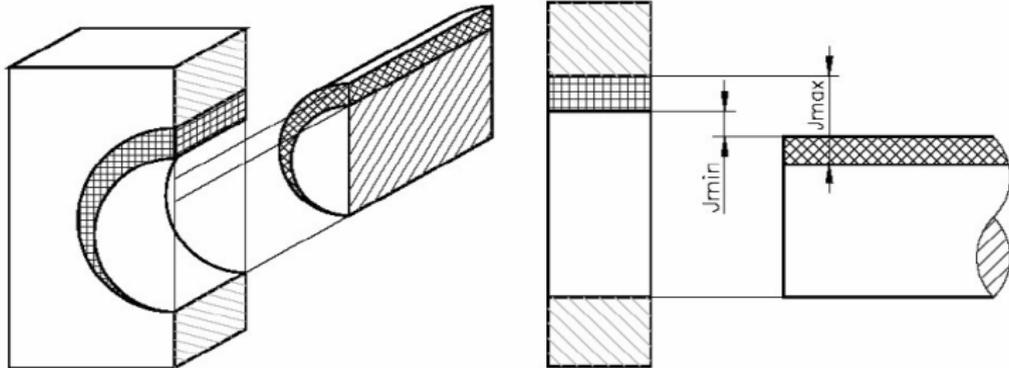
Sistema de agujero único (SAU)

Toma como elemento base el AGUJERO, siendo común para todos los ejes que se fabriquen. El punto de origen para este sistema es la medida mínima del agujero que coincide con la nominal.

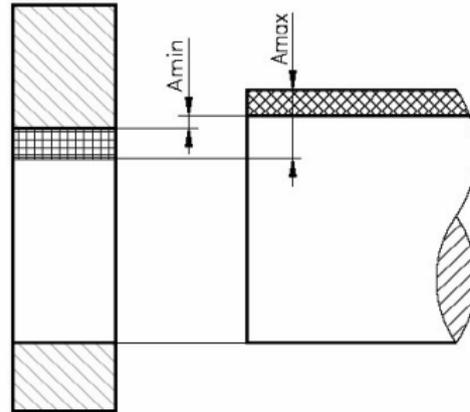
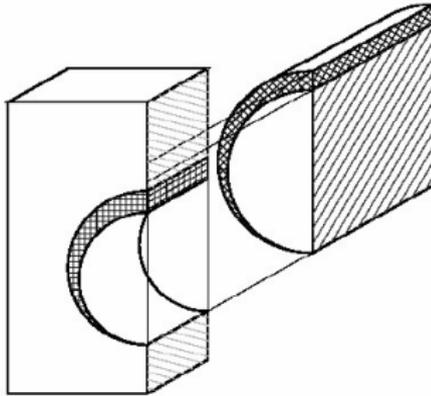


$$D_{min_a} = D_N \wedge \Delta_{S_a} = T_a \wedge \Delta_{I_a} = 0$$

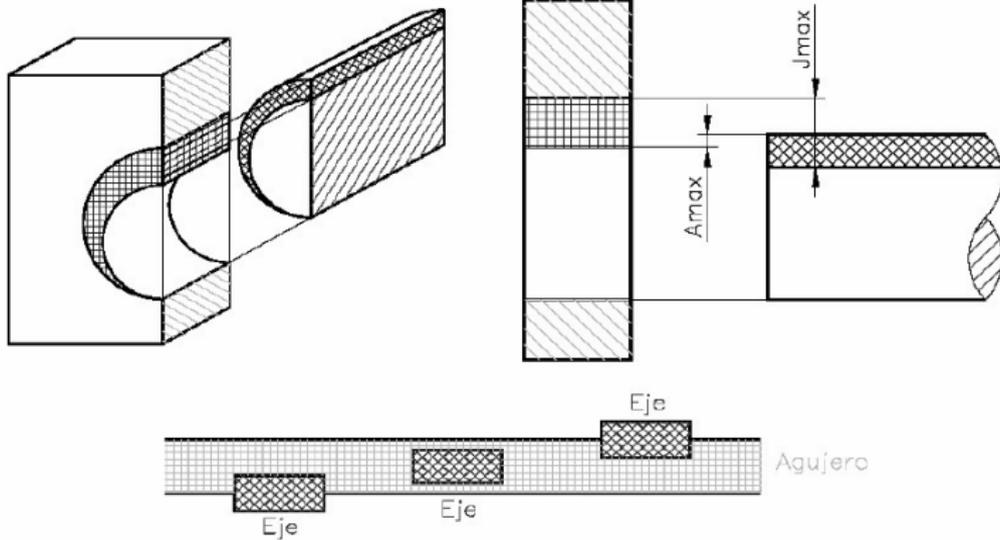
Ajuste con juego



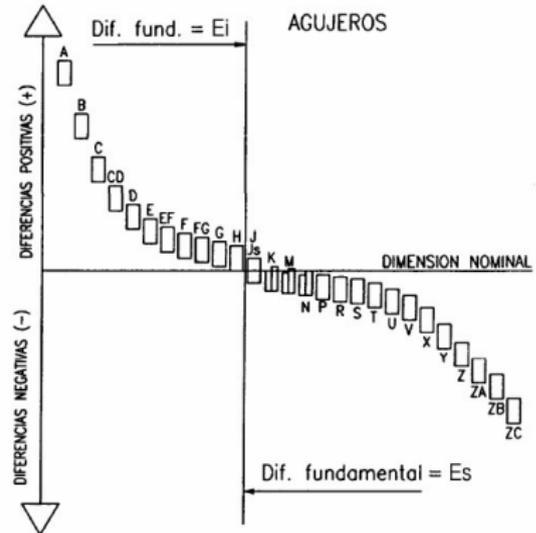
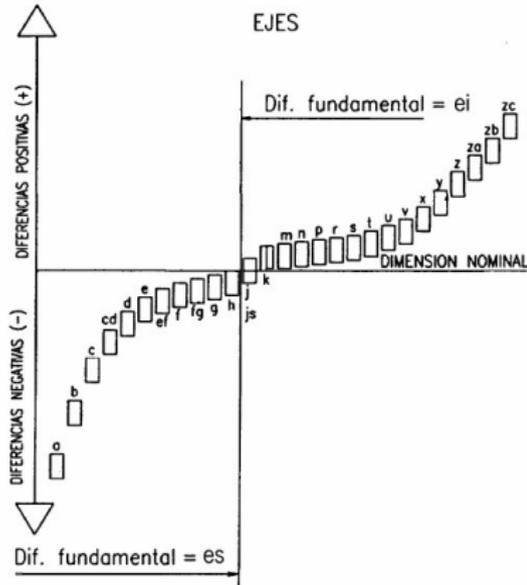
Ajuste con aprieto



Ajuste indeterminados



Posiciones de la tolerancia



Calidad

Definición

Se denomina de esta manera al grado de precisión que se desea obtener en las dimensiones de la pieza a construir. Está vinculada por lo tanto a la mayor o menor tolerancia. Las normas IRAM establecen 18 grados de calidad, que se identifican por números que van del 0,1 al 16. A cada grado de calidad le corresponde un determinado valor de tolerancia, que es mayor cuanto más grande es el número.

Grados de calidad

Para las **calidades de 0,1 a 1**, los valores de tolerancia se fijaron empíricamente: (D_N expresada en mm)

	0,1	0	1
Valores en μ	$0,3 + 0,008 D_N$	$0,5 + 0,012 D_N$	$0,8 + 0,02 D_N$

Para las **calidades de 2 a 4** los valores de tolerancia se escalonaron aproximadamente según una progresión geométrica de razón 1,5.

Grados de calidad

Para las **calidades de 5 a 16**, que son las utilizadas en la industria, los valores de tolerancia se determinan en función de lo que se denomina *Unidad de tolerancia fundamental* $i(\mu)$, y de un coeficiente numérico (K) cuyo valor se fija en función del grado de calidad.

Unidad de tolerancia fundamental:

$$i(\mu) = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D_N} + 0,001 D_N$$

Coefficiente K para distintos grados de calidad:

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
K	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000

Tolerancia fundamental y discrepancias

Tolerancia fundamental: se indica con el acrónimo *IT*, seguido por el valor de *K*:

$$IT..... = K i(\mu) = K (0,45 \sqrt[3]{D_N} + 0,001 D_N)$$

Valores de discrepancias:

Eje	Discrepancia	Formula	Discrepancia	Agujero
<i>a</i>	D_S	$64 \cdot D_N^{0,5}$	D_I	<i>A</i>
<i>b</i>	D_S	$40 \cdot D_N^{0,48}$	D_I	<i>B</i>
<i>c</i>	D_S	$25 \cdot D_N^{0,40}$	D_I	<i>C</i>
<i>d</i>	D_S	$16 \cdot D_N^{0,44}$	D_I	<i>D</i>
<i>e</i>	D_S	$11 \cdot D_N^{0,41}$	D_I	<i>E</i>
<i>f</i>	D_S	$5,5 \cdot D_N^{0,41}$	D_I	<i>F</i>
<i>g</i>	D_S	$2,5 \cdot D_N^{0,34}$	D_I	<i>G</i>
<i>k</i>	D_I	$0,6 \cdot \sqrt[3]{D_N}$	D_S	<i>K</i>
<i>m</i>	D_I	$2,8 \cdot \sqrt[3]{D_N}$	D_S	<i>M</i>
<i>n</i>	D_I	$5 \cdot D_N^{0,34}$	D_S	<i>N</i>
<i>p</i>	D_I	$5,6 \cdot D_N^{0,41}$	D_S	<i>P</i>

Grupos de calidad

En función de los valores para la tolerancia, se consideran 4 grupos:

- 1 Calidad extra precisa o ajuste de precisión (1-4)
- 2 Calidad precisa o ajuste fino (5-7)
- 3 Calidad ordinaria o ajuste corriente (8-11)
- 4 Calidad grosera o ajuste basto (12-16)

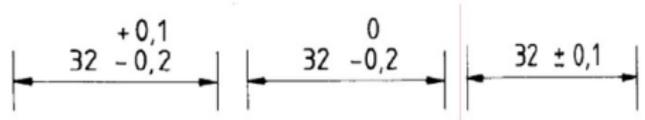
Ejemplo de calidad relacionados a procesos de manufactura:

- 1 Rectificado $\rightarrow IT 6$
- 2 Escariado, brochado, bruñido $\rightarrow IT 7 - 8$
- 3 Torneado $\rightarrow IT 9$
- 4 Forjado, fundido $\rightarrow IT 15 - 16$

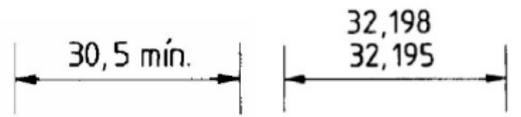
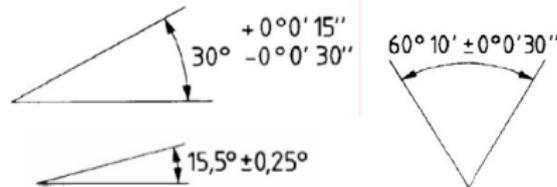
Formas de indicar la tolerancia

Indicación en los dibujos ISO.

- Con su medida nominal seguida de las desviaciones límites.

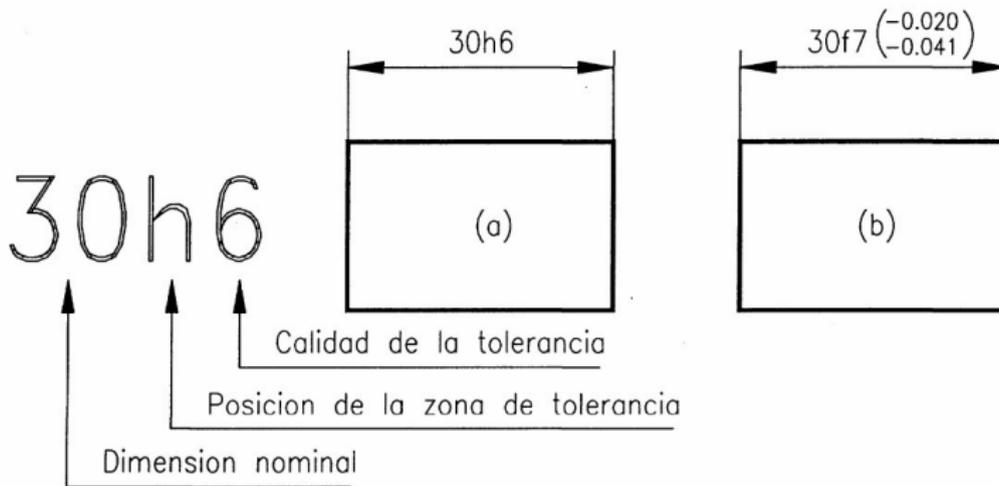


- Con los valores máximo y mínimo.



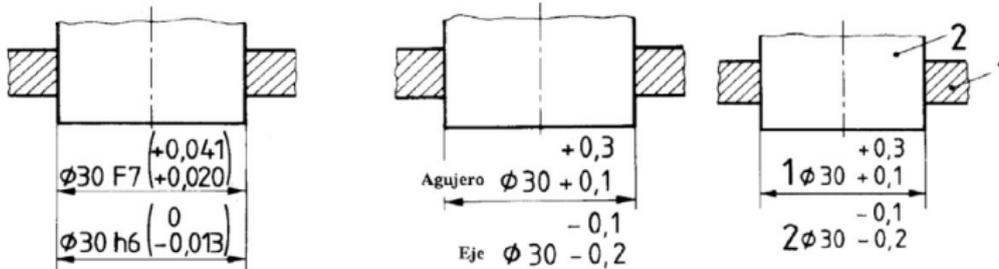
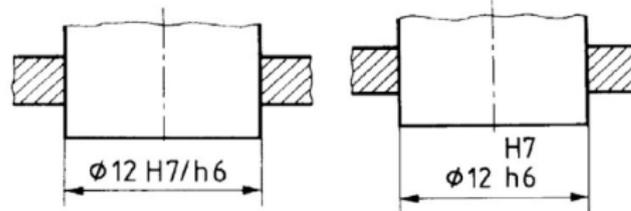
Formas de indicar la tolerancia

- Con la notación normalizada ISO.



Formas de indicar la tolerancia

- Inscripción de tolerancias en los dibujos de conjunto ISO.



Introducción

Las **desviaciones de acabado superficial** influyen en aspectos tales como:

- **Lubricación:** Superficies de pistones, rodamientos,...
- **Desgaste:** Guías, apoyos,...
- **Estanqueidad:** Piezas de depósitos de alta presión
- **Comportamiento a Fatiga:** ejes, acoplamientos,...
- **Aspecto Estético:** Superficies de moldes y matrices.
- **Otros:** Brillo, adherencia de recubrimientos, corrosión, ...



Molde para el pie de una copa: La superficie de los moldes se pulen manualmente hasta obtener un "acabado espejo" que garantiza la estética de las piezas

Para poder evaluar el acabado superficial de una pieza, es necesario distinguir entre **rugosidad** y **defecto de forma**:



Clasificación de desviaciones superficiales

Defectos de forma: inclinación del perfil, falta de planitud o de redondez, etc.

- Afectan al funcionamiento: Excentricidad, falta de ajuste, holguras, ruidos/vibraciones, ...

Rugosidad:

- Afectan al comportamiento de la superficie frente a rozamiento, lubricación, desgaste, rodadura, etc.

La **evaluación** del acabado superficial se realiza sobre un perfil plano de la superficie real, obtenido mediante un instrumento, denominado rugosímetro

Las desviaciones intermedias entre los defectos de forma y la rugosidad se denominan "**ondulación**"

Longitud de Corte (l_c) o Cutoff: Distancia que se utiliza para diferenciar ondulación y rugosidad.

- Si el espaciado de la desviación $\geq l_c \rightarrow$ **ONDULACIÓN**

- Si el espaciado de la desviación $< l_c \rightarrow$ **RUGOSIDAD**



Clasificación de desviaciones superficiales

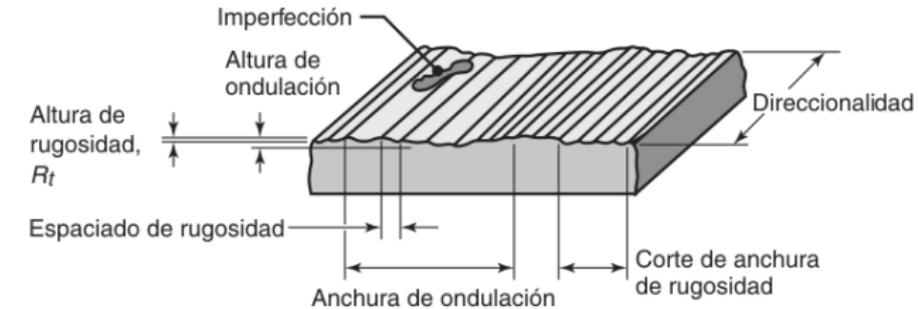
Longitud de Corte (l_c) o Cutoff: Distancia que se utiliza para diferenciar rugosidad de desviaciones de ondulación

- Si el espaciado de la desviación $\geq l_c \rightarrow$ **ONDULACIÓN**
- Si el espaciado de la desviación $< l_c \rightarrow$ **RUGOSIDAD**

Valores de l_c aconsejados para la medición de rugosidad en función del proceso de fabricación

Proceso de acabado	Gama aprox. de valores Ra		Valores de longitud de corte apropiados		
	μm	μpulg	0,25mm 0,01in	0,8mm 0,03in	2,5mm 0,1in
Superacabado	0,05-0,2	2-8	✓	✓	
Lapeado	0,05-0,4	2-16	✓	✓	
Bruñido	0,1-0,8	4-32	✓	✓	
Rectificado	0,1-1,6	4-63	✓	✓	✓
Torneado con diamante	0,1-0,4	4-16	✓	✓	
Torneado	0,4-6,3	16-250		✓	✓
Mandrinado	0,4-6,3	16-250		✓	✓
Estirado	0,8-3,2	32-125		✓	✓
Brochado	0,8-3,2	32-125		✓	✓
Extruido	0,8-3,2	32-125		✓	✓
Fresado	0,8-6,3	32-250		✓	✓
Conformado	1,6-12,5	63-500		✓	✓

Clasificación de desviaciones superficiales



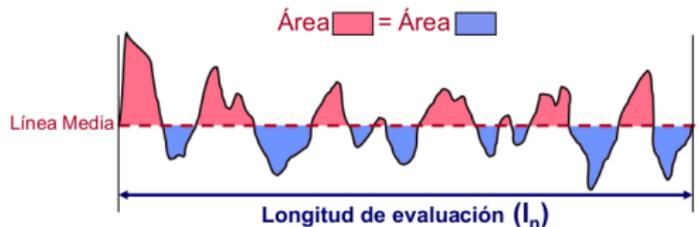
Perfil superficial = Error de forma + Ondulación + Rugosidad

Expresión de la rugosidad

- Los picos y valles de una superficie aparecen, por lo general, de forma **aleatoria**.
- Es necesario utilizar **parámetros estadísticos** para cuantificar la rugosidad. Estos parámetros están normalizados (ISO 4288:1996, ASME B46.1-2002)
- Es habitual **utilizar más de un parámetro** para definirla.

Para medir la rugosidad se realizan los siguientes pasos:

- 1.- Medir un perfil completo con una longitud de evaluación normalizada $l_n > l_c$ (generalmente, $5 \cdot l_c$)
- 2.- Filtrar la señal para eliminar la ondulación.
- 3.- Establecer la línea media: Línea que separa áreas iguales en los picos y en los valles

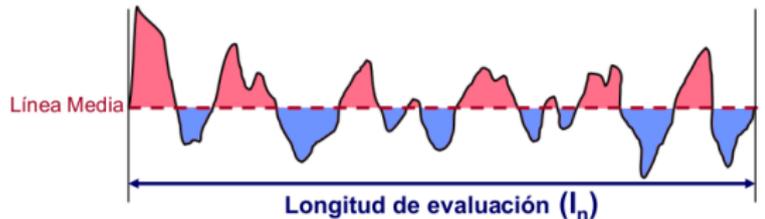


Expresión de la rugosidad

Rugosidad Media (Ra): El parámetro más utilizado

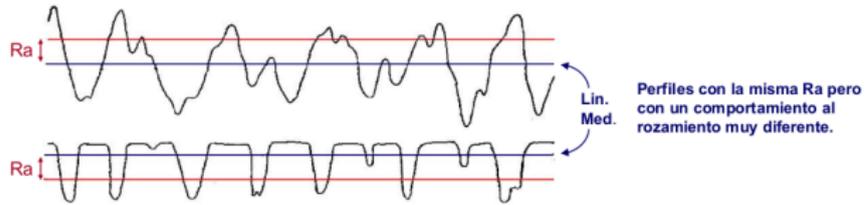
Es la media aritmética del perfil: $R_a = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |y(x)| dx$

Es el resultado de realizar la operación:
$$\frac{\sum (\text{Área } \blacksquare) + \sum (\text{Área } \blacksquare)}{l_n}$$



Expresión de la rugosidad

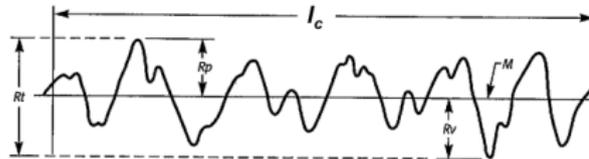
Puede darse el caso de que dos perfiles muy diferentes tengan la misma rugosidad media Ra:



Se complementa la Ra con más parámetros:

- R_p : Altura máxima de pico
- R_v : Prof. máxima de valle
- R_{ti} : Altura máxima pico-valle

R_p , R_v y R_{ti} se calculan para cada longitud de corte, l_c

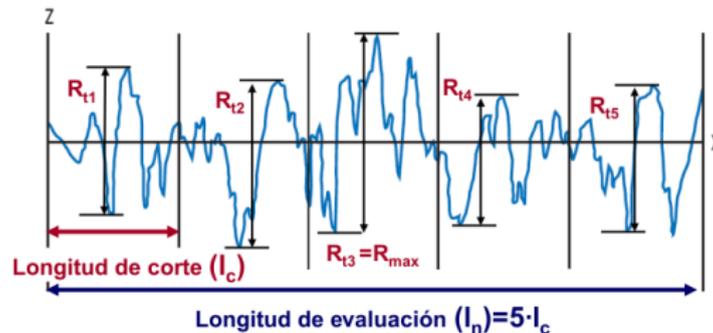


R_t , R_p , and R_v Parameters

Expresión de la rugosidad

Otros parámetros de medida de rugosidad se basan en estadísticos de las alturas de picos y valles a lo largo de una longitud de corte:

- R_{ti} : Altura máxima pico- valle en una longitud de corte
- R_2 : Media aritmética de los valores de R_{ti}
- R_{max} : Altura máxima pico- valle ($\max(R_{ti})$)



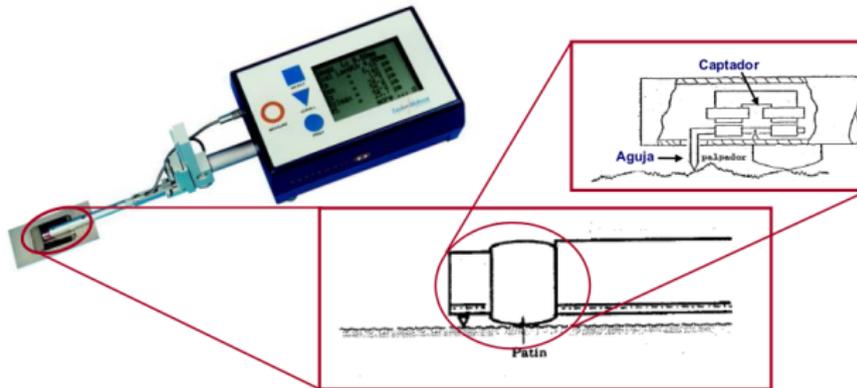
Hay más parámetros para definir otras características de la topografía superficial: medición de la distribución de los picos, distancia longitudinal entre picos y valles, etc.

Medición de la rugosidad

RUGOSÍMETRO:

La medición de la rugosidad se realiza con el rugosímetro. Este instrumento se compone de:

- Aguja: se introduce entre los picos y valles. Es de diamante → Desgaste↕
- Captador: Registra los movimientos verticales de la aguja
- Patín: Se apoya en la superficie y sirve de filtro mecánico. Son de rubí sintético → Deformación↕
- Motorización: Empuja y arrastra la aguja sobre la superficie
- Electrónica: Registra los datos del captador, los procesa y obtiene los parámetros deseados

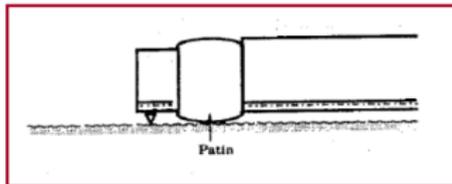


Medición de la rugosidad

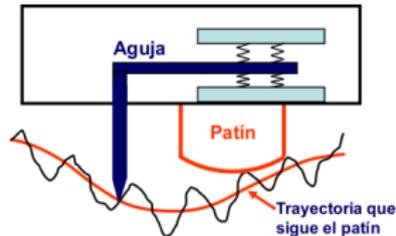
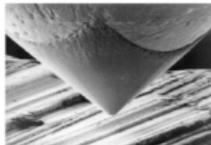
RUGOSÍMETRO:

La medición de la rugosidad se realiza con el rugosímetro. Este instrumento se compone de:

- Aguja: se introduce entre los picos y valles. Es de diamante → Desgaste↓
- Captador: Registra los movimientos verticales de la aguja
- Patín: Se apoya en la superficie y sirve de filtro mecánico. Son de rubí sintético → Deformación↓
- Motorización: Empuja y arrastra la aguja sobre la superficie
- Electrónica: Registra los datos del captador, los procesa y obtiene los parámetros deseados



Detalle de la punta de la aguja del rugosímetro



Clases de rugosidad

→ En las normas de rugosidad (DIN 4762, 4766, 4768, 4771, 4775) se definen las **clases de rugosidad**.

→ Los valores de rugosidad R_a se clasifican en una serie de intervalos **Nx** (siendo **x** un número del 1 al 12) según se indica en la siguiente tabla:

R_a en μm	Clase de rugosidad	R_a en μm	Clase de rugosidad
50	N12	25	N11
12,5	N10	6,3	N9
3,2	N8	1,6	N7
0,8	N6	0,4	N5
0,2	N4	0,1	N3
0,05	N2	0,025	N1

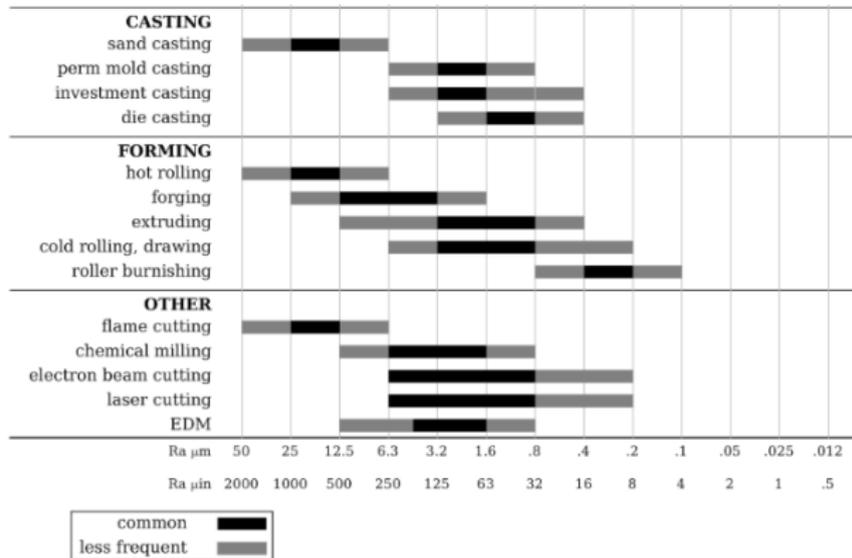
Clases de rugosidad

Rugosidad	Aplicación
N1	Espejos. Bloques patrón
N2	Planos de apoyo de relojes comparadores
N3	Herramientas de precisión. Cojinetes. Acoplamientos estancos de alta presión en movimiento alternativo. Superficies bruñidas de retención son reten.
N4	Soportes de cigüeñales y árboles de de levas. Pies de válvulas. Superficies de cilindros en bombas hidráulicas. Cojinetes lapeados. Pernos de árboles para rotores de turbina, reductores.
N5	Árboles acanalados. Superficie exterior de pistones. Acoplamientos efectuados a presión. Asientos de válvulas.
N6	Tambores de freno. Agujeros brochados. Cojinetes de bronce. Dientes de rudas dentadas. Superficies de piezas deslizantes.
N7	Caras de ruedas dentadas. Árboles y orificios de engranajes. Cara de émbolo.
N8	Pernos y cojinetes para transmisión (montaje a mano). Superficies de acoplamiento de partes fijas desmontables.
N9	Superficies laterales de retención con retenes normales.

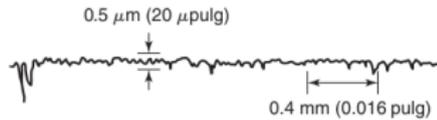
Clases de rugosidad para diferentes procesos

	Ra μm	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	.8	.4	.2	.1	.05	.025	.012
	Ra μin	2000	1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1	.5
METAL CUTTING														
sawing		█	█	█	█	█	█	█	█					
planing, shaping			█	█	█	█	█	█	█	█				
drilling				█	█	█	█	█	█	█				
milling			█	█	█	█	█	█	█	█				
boring, turning			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
broaching				█	█	█	█	█	█	█				
reaming				█	█	█	█	█	█	█				
ABRASIVE														
grinding				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
barrel finishing					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
honing						█	█	█	█	█	█	█	█	█
electro-polishing							█	█	█	█	█	█	█	█
electrolytic grinding								█	█	█	█	█	█	█
polishing									█	█	█	█	█	█
lapping										█	█	█	█	█
superfinishing											█	█	█	█

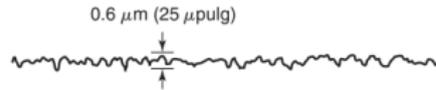
Clases de rugosidad para diferentes procesos



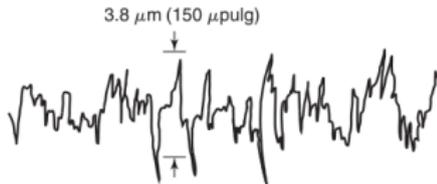
Clases de rugosidad para diferentes procesos



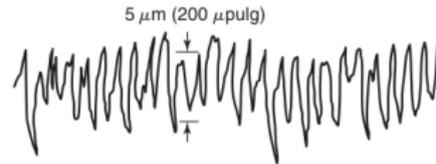
(c) Lapeado



(d) Rectificado de acabado

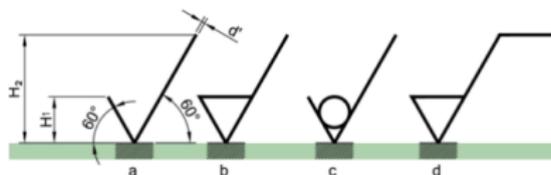


(e) Rectificado de desbaste



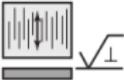
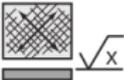
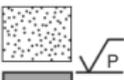
(f) Cilindrado

Indicación de los estados superficiales



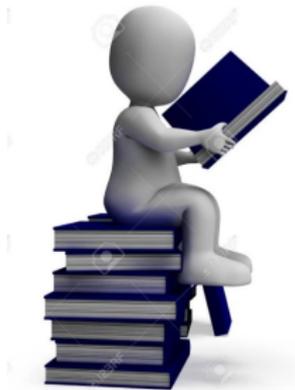
- Para indicar las características superficiales en los planos, se parte del símbolo básico (**a**).
- Si el mecanizado se realiza con arranque de virutas, se utiliza en (**b**).
- Si es sin arranque de virutas, se emplea el (**c**).
- Para indicar características especiales de la superficie, se usa el (**d**).

Indicación de los estados superficiales

Símbolo de la direccionalidad	Interpretación	Ejemplos
	Direccionalidad paralela a la línea que representa la superficie a la que se aplica el símbolo	
	Direccionalidad perpendicular a la línea que representa la superficie a la que se aplica el símbolo	
	Direccionalidad angular en ambas direcciones a la línea que representa la superficie a la que se aplica el símbolo	
	Direccionalidad picada, protuberante, porosa o de partículas sin dirección	

Indicación de los estados superficiales

<i>Valor de R_a en μ</i>	<i>Clase de rugosidad</i>	<i>Signo equivalente (antiguo)</i>
50 25	N 12 N 11	
12.5 6,3	N 10 N 9	
3,2 1,6	N 8 N 7	
0,8 0,4	N 6 N 5	
0,2 0,1 0,05 0,025	N 4 N 3 N 2 N 1	



- Libro: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Capítulo 35, Páginas: 1085 a 1105 y Capítulo 33.
- Laboratorio 1 y Guía práctica 1.