

# Sistemas de Ajustes y Tolerancias

## Introducción y fundamentos

En la actualidad, las crecientes necesidades de *intercambiabilidad* y producción de grandes volúmenes imponen un análisis cuidadoso para lograr la eliminación de problemas de ensamble.

Cuando se fabrica una pieza no es posible fijarse la obtención de una dimensión exacta. Es por eso, que se hace necesario establecer medidas "límite" dentro de las cuales puede estar comprendida la dimensión obtenida.

Estos límites reciben el nombre de dimensión máxima ( $D_{\max}$ ), que es el límite superior, y dimensión mínima ( $D_{\min}$ ), que es el límite inferior.

La cantidad total que les es permitida variar a una dimensión especificada se denomina tolerancia ( $T$ ), y es la diferencia entre la medida máxima y la mínima.

Según la dirección en la cual la variación es permitida, y en relación con la dimensión básica, las tolerancias se clasifican en unilaterales y bilaterales.

La dimensión nominal ( $D_{\text{nom}}$ ), es la cota del dibujo, es decir la medida que se supone "ideal" y que es la que se quiere obtener.

Al ensamblar piezas hay un ajuste, el cual es la cantidad de juego o interferencia resultante de tal ensamble. Por ajuste se entiende a la relación de dependencia existente entre dos piezas que se comunican refiriéndose a si hay movimiento relativo entre ellas o no.

Entonces, siguiendo esta definición, podemos clasificar a los ajustes como:

- Ajuste con Juego
- Ajuste Indeterminado
- Ajuste con Interferencia

En este curso nos referiremos a secciones circulares para analizar los tipos de ajuste; recordando que puede extenderse el concepto a otro tipo de perfiles.

De esta manera, se denomina Juego, a la diferencia entre los diámetros del agujero y el eje. Existe juego cuando el diámetro del agujero es mayor que el diámetro del eje; puede decirse también que es cuando su diferencia es positiva.

Análogamente, se denomina Interferencia o apriete, a la diferencia entre los diámetros del agujero y el eje. Existe apriete cuando el diámetro del eje es mayor que el del agujero; entonces, puede decirse también, que se da cuando su diferencia es negativa.

Construyendo los ejes y agujeros dentro del sistema de dimensiones límites, existen juegos y aprietos que presenten valores máximos y mínimos en cada caso.

Por lo tanto pasaremos a definir qué son el juego y el apriete máximos y mínimos; para eso seguiremos la siguiente regla:

Se denomina juego máximo a la diferencia entre la dimensión máxima del agujero y la mínima del eje:

$$J_{\max} = D_{\max}(\text{ag}) - D_{\min}(\text{eje})$$

Se denomina juego mínimo a la diferencia entre la dimensión mínima del agujero y la máxima del eje:

$$J_{\min} = D_{\min}(\text{ag}) - D_{\max}(\text{eje})$$

Se denomina apriete máximo a la diferencia entre la dimensión mínima del agujero y la máxima del eje:

$$A_{\max} = D_{\min}(\text{a}) - D_{\max}(\text{eje})$$

Se denomina apriete mínimo a la diferencia entre la dimensión máxima del agujero y la mínima del eje:

$$A_{\min} = D_{\max}(a) - D_{\min}(eje)$$

Como se puede observar, hay dos pares de ecuaciones que se ven representadas por la misma resta. Entonces, como se menciono anteriormente, se considerara Juego, cuando dichas diferencias sean positivas, y el opuesto cuando sean negativas. Para ello entonces, se procede a calcular adoptando por convención que el sistema presenta juego, y se observara si la diferencia es de signo positivo o negativos. Matemáticamente, el valor en modulo será el mismo.

## **Sistemas de Ajuste**

En la ejecución de piezas mecánicas que tienen que ajustarse una con la otra, deben tenerse en cuenta los siguientes conceptos:

- Dimensión nominal
- Tolerancia
- Juego o Interferencia

Se designa con la denominación de sistemas de ajustes a una serie de asientos con juego y apriete, que responden a un determinado ordenamiento.

Cuando se trata de de la fabricación de ejes y agujeros, los cuales deben girar con mayor o menor facilidad o bien permanecer fijos respondiendo a mayor o menor aprieto, puede resolverse el problema con dos sistemas de ajuste; dichos sistemas nacen del hecho de considerar cuál de los dos elementos del par de piezas a fabricar pueden asumir la característica de normal o básico, y cual permanece como elemento variable.

## **Sistema de Agujero Único - SAU**

Tiene la característica de que el agujero se construye de una dimensión uniforme, siendo común para todos los asientos de igual calidad; y los ejes en cambio, se construyen permitiendo la variación de la tolerancia de ajuste de modo de obtener el juego o la interferencia.

## **Sistema de Eje Único - SEU**

Tiene la característica de que el eje es el que se mantiene a un diámetro constante, variando el diámetro del agujero para obtener el ajuste deseado.

En ambos sistemas, la línea que corresponde a la medida nominal se denomina línea Cero. En un plano, la cota del dibujo representa la línea cero e identifica si es sistema de eje o de agujero único.

## **Grados de calidad**

En este sistema de ajuste, los grados de calidad admitidos son los siguientes:

- Calidad perfecta
- Calidad precisa
- Calidad ordinaria
- Calidad basta

## Cuadro de calidades según normas ISO

**CUADRO 1**

CALIDAD DE TOLERANCIA	USO MÁS FRECUENTE
0.1 0 1 2 3 4	Calibres de comparación Bloques patrón Espejos, etc.
5 6 7 8 9 10 11 12	Piezas de uso industrial que se unirán con otras
13 14 15 16	Piezas sueltas

### Sistema de Ajuste Internacional ISO

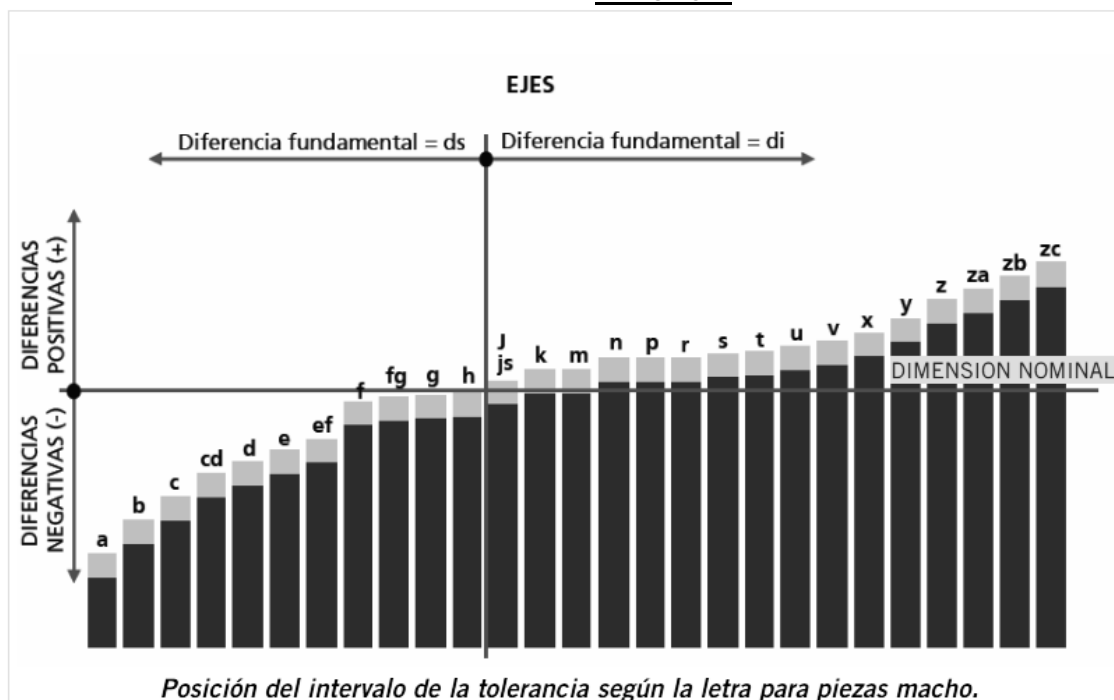
En el sistema ISO se utilizan letras mayúsculas para características internas y minúsculas para características externas, que indican la posición de la zona de tolerancia con respecto a la línea de cero.

Los números que le siguen a las letras se conocen como grados de tolerancia y son grupos de tolerancias correspondientes al mismo nivel de exactitud. Para todas las dimensiones especificadas existen 18 grados diferentes que son los mencionados en el *cuadro 1*.

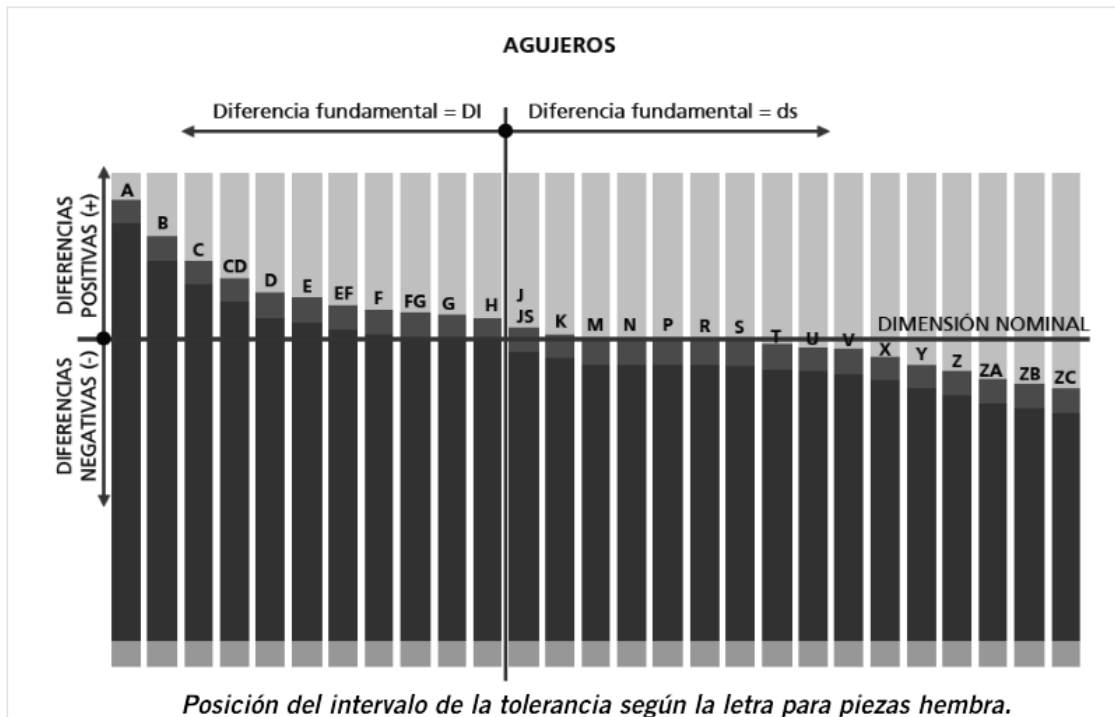
La tolerancia también depende de la dimensión, entre mayor sea la dimensión mayor será la tolerancia.

En las siguientes figuras, vemos cómo cada letra, ya sea mayúscula o minúscula, ubica el campo de tolerancia con respecto a la medida nominal.

**CUADRO 2**



**CUADRO 3**



Por lo general, los valores que se encuentran en las tablas según esta norma están expresados en micrones (0,001mm) y referidos a una temperatura estándar de 20°C.

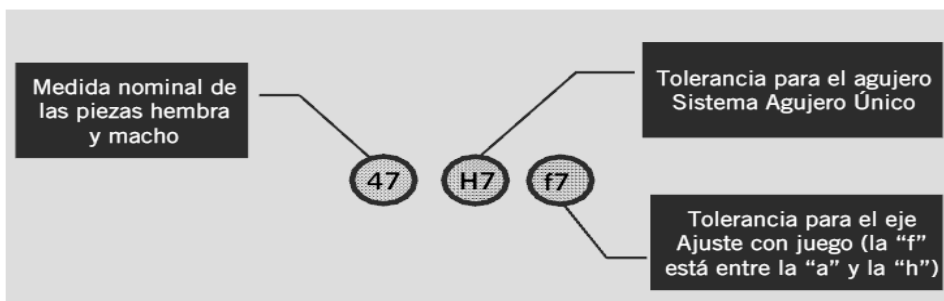
Para piezas que van a ensamblarse tal vez sea necesario analizar el juego o la interferencia que se producirá al ensamblarlas; indudablemente habrá un juego o apriete máximo o un juego o apriete mínimo, lo que dependerá de las dimensiones reales de las piezas por ensamblar y de las tolerancias asignadas a cada parte.

Cuando los signos de ambos casos son positivos tendremos juego máximo y mínimo, y cuando son negativos tendremos interferencia máxima y mínima. Cuando uno es positivo y el otro negativo se obtiene un ajuste indeterminado.

La siguiente tabla muestra los ajustes más comúnmente utilizados en el sistema ISO

AJUSTES PRINCIPALES			H6	H7	H8	H9	H11	
Juego Grande	Ensamblajes cuyo funcionamiento requiere juego amplio por dilataciones, mala alineación, cojinetes grandes, etc.	c				9	11	
		d				9	11	
Juego Mediano	Piezas que giran o se deslizan con una buena lubricación	e		7	8	9		
		f	6	6 7	7			
Juego Pequeño	Piezas con guía y movimientos de pequeña amplitud	g	5	6				
Ajuste Exacto		h	5	6	7	8		
Apriete Pequeño	El ensamble se puede hacer a mano, la unión no puede transmitir esfuerzos. Se puede montar y desmontar	Ensamble a mano		j	5	6		
				k	5			
Ensamble a mano con maceta		m		6				
		p		6				
Apriete Grande	Imposible desmontar sin deterioro. La unión puede transmitir esfuerzos	Ensamble a Prensa		s			7	
		Ensamble a Prensa o por dilatación		u			7	
				x			7	

Por lo general, cuando se representa una tolerancia, ya sea en un croquis o en un dibujo o mismo en un plano, se aconseja escribir según lo indica la norma. De esta manera se escribe en primer término la dimensión nominal en milímetros, seguida de la expresión representativa del agujero y luego la del eje.



Ejemplo:

Determinaremos el **Juego o Apriete mínimo y máximo** para las siguientes **Tolerancias**.

a- 47 H7-f7

b- 12 h6-N7

Para encontrar el valor del Juego o del apriete entre el eje y su alojamiento es necesario recurrir a una tabla de tolerancias ISO de la cual se podrán obtener los límites inferior y superior de las dimensiones ( $D_{max}$ ;  $D_{min}$ ;  $d_{max}$ ;  $d_{min}$ ).

a) 1°. Como la primera letra que aparece es **Mayúscula** (agujeros), entonces da la pauta de que se trata de un **SISTEMA** de AGUJERO ÚNICO.

2°. Entramos a la tabla ISO de SAU y ubicamos la columna marcada con **H7**.

3°. Bajamos por la columna hasta dar con la fila cuyo rango incluya a nuestra medida nominal.

4°. Nos desplazamos a la derecha hasta hallar la columna **f7** de tolerancias para ejes.

5°. Ya habremos encontrado

los valores en micrones

que determinarán los diámetros máximos y mínimos.

		Calidad Perfecta						Calidad Precisa												
mm	H6	n5	m5	k5	j5	h5	H7	p6	n6	m6	k6	j6	h6	g6	f7	e8	d9			
COTA NOMINAL	Agujero Único	Apriete Fijo	Apriete Semifijo	Semi-Apretado	Apretado Suave	Deslizante	Agujero Único	Solidarizado	Apriete Fijo	Apriete Semifijo	Semi-Apretado	Apretado Suave	Deslizante	Giratorio Duro	Giratorio Suave	Giratorio Fácil	Giratorio Suelto			
1-3	+7 +0	+11 +6	+7 +2		+4 -1	+0 -5	+9 +0	+16 +9	+13 +6	+9 +2		+6 -1	+0 -7	-3 -10	-7 -16	-14 -28	-20 -45			
3-6	+8 +0	+13 +8	+9 +4		+4 -1	+0 -5	+12 +0	+20 +12	+16 +8	+12 +4		+7 -1	+0 -8	-4 -12	-10 -22	-20 -38	-30 -60			
6-10	+9 +0	+16 +10	+12 +6	+7 +1	+4 -2	+0 -6	+15 +0	+24 +15	+19 +10	+16 +6	+10 +2	+7 -2	+0 -9	-5 -14	-13 -28	-26 -47	-40 -76			
10-18	+11 +0	+20 +12	+15 +7	+9 +1	+5 -3	+0 -8	+18 +0	+29 +18	+23 +12	+18 +7	+12 +1	+8 -3	+0 -11	-6 -17	-16 -34	-32 -59	-50 -93			
18-30	+13 +0	+24 +15	+17 +8	+11 +2	+5 -4	+0 -9	+21 +0	+35 +22	+28 +16	+21 +8	+15 +2	+9 -4	+0 -13	-7 -20	-20 -41	-40 -73	-65 -117			
30-50	+16 +0	28 +17	+20 +9	+13 +2	+6 -5	+0 -11	+25 +0	+42 +26	+33 +17	+25 +9	+18 +2	+11 -5	+0 -16	-9 -25	-25 -50	-50 -89	-80 -142			
50-80	+19 +0	+33 +20	+24 +11	+15 +2	+6 -7	+0 -13	+30 +0	+51 +32	+39 +20	+30 +11	+21 +2	+12 -7	+0 -19	-10 -29	-30 -60	-60 -106	-100 -174			
80-120	+22 +0	+38 +23	+28 +13	+18 +3	+6 -9	+0 -16	+35 +0	+59 +37	+45 +23	+35 +13	+25 +3	+13 -9	+0 -22	-12 -34	-36 -71	-72 -126	-120 -207			
120-180	+25 +0	+45 +27	+33 +15	+21 +3	+7 -11	+0 -18	+40 +0	+68 +43	+52 +27	+40 +16	+28 +3	+14 -11	+0 -25	-14 -39	-43 -83	-85 -148	-145 -245			
180-250	+29 +0	+51 +31	+37 +17	+24 +4	+7 -13	+0 -20	+46 +0	+60 +31	+46 +17	+33 +4	+20 +13	+16 -13	+0 -29	-15 -44	-50 -96	-100 -172	-170 -285			
250-315	+32 +0	+57 +34	+43 +20	+27 +4	+7 -16	+0 -23	+52 +0	+66 +34	+52 +20	+36 +4	+24 +16	+16 -16	+0 -32	-17 -49	-56 -108	-110 -191	-190 -320			

b) La única diferencia respecto del ejercicio anterior, es que en este caso es necesario ingresar a la tabla ISO de Sistema de Eje Único ya que la primera letra es **MINÚSCULA**. Se busca la columna correspondiente a h6, la fila que incluya la cota nominal y la columna N7. De allí se obtienen los valores para calcular los diámetros máximos y mínimos.

## Tolerancias de Forma y Posición

Una pieza se compone de varios elementos de forma geométrica. Generalmente, estos elementos varían de forma y posición con respecto a las ideales. Es decir, que es prácticamente imposible preparar piezas geométricamente perfectas. En la fabricación suele suceder que se produzcan irregularidades geométricas que pueden afectar a la forma, a la posición y/o a la orientación de los diferentes elementos constructivos de las piezas.

El objetivo de estas tolerancias es el aseguramiento de condiciones satisfactorias para el funcionamiento y la intercambiabilidad de piezas y de grupos de construcción, aunque hayan sido fabricados en talleres diferentes y por distintos equipos y personas.

Estas tolerancias se utilizarán cuando sean imprescindibles para la utilidad de función y la fabricación económica de la pieza

**Tolerancias de Forma:** Las tolerancias de forma limitan las diferencias admisibles de un elemento con respecto a su forma ideal geométrica. Determinan la zona de tolerancia dentro de la que ha de quedar el elemento y puede tener cualquier forma.

**Tolerancias de Posición:** Las tolerancias de posición son tolerancias de dirección, de lugar o de movimiento. Limitan las diferencias admisibles de la posición ideal geométrica de dos o más elementos entre sí, de los cuales, generalmente se fija uno como elemento de referencia.

### Clases de tolerancias de forma y de posición

En el cuadro a la derecha, vemos cuáles son las diferentes tolerancias de forma y posición; cuáles son las propiedades toleradas por ellas, y los símbolos que se utilizan para representarlas en los planos.

	PROPIEDAD TOLERADA	SÍMBOLO
Tolerancias de forma	Rectitud	
	Planicidad	
	Redondez	
	Cilindricidad	
	Forma de línea	
	Forma de superficie	
Tolerancias de dirección	Paralelismo	
	Perpendicularidad	
	Inclinación (angular)	
	Posición	
Tolerancias de lugar	Concentricidad y coaxialidad	
	Simetría	
	Circular	
Tolerancias de oscilación	Total	



	CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO	INDICACIÓN EN EL DIBUJO	ZONA DE TOLERANCIA	INTERPRETACIÓN
TOLERANCIAS DE FORMA	Rectitud				El eje del cilindro deberá estar contenido en el interior de un cilindro de 0.1 mm de diámetro.
	Planicidad				La superficie plana deberá estar contenida entre dos planos paralelos separados 0.05 mm.
	Redondez				El contorno circular de cualquier sección transversal deberá estar contenido entre dos circunferencias concéntricas cuya diferencia de radios es 0.05 mm.
	Cilindricidad				La superficie cilíndrica deberá estar contenida entre dos cilindros coaxiales cuya diferencia de radios es 0.05 mm.
	Forma de línea				En cada sección paralela al plano de proyección, el perfil controlado deberá estar contenido entre dos envolventes de círculos de diámetro 0.2 mm, cuyos centros están situados sobre un perfil geoméricamente perfecto.
	Forma de superficie				La superficie controlada deberá estar contenida entre dos superficies envolventes de esferas de diámetro 0.2 mm, cuyos centros están situados sobre una superficie geoméricamente perfecta.

Paralelismo				El plano controlado deberá estar contenido entre dos planos paralelos separados 0.1 mm y paralelos al plano de referencia A.
Perpendicularidad				El eje del cilindro controlado deberá estar contenido dentro de un cilindro de diámetro 0.03 mm y eje perpendicular al plano de referencia A.
Inclinación				El plano controlado deberá estar contenido entre dos planos paralelos separados 0.1 mm e inclinados 25° con respecto al plano de referencia A.
Posición				Cada uno de los tres ejes taladros deberá estar situado dentro de un cilindro de diámetro 0.2 mm, cuyo eje coincidirá con la posición teórica exacta de los ejes de dichos taladros, la cual ha sido establecida con respecto a los planos de referencia A y B.
Concentricidad y coaxialidad				El eje del cilindro controlado deberá estar situado dentro de un cilindro de diámetro 0.05 mm y coaxial con el eje de referencia A.
Simetría				El plano de simetría de la ranura deberá estar situado entre dos planos paralelos separados 0.05 mm y situados simétricamente con respecto al plano medio A de referencia.



# Sistema de Agujero Unico

mm	Calidad Perfecta						Calidad Precisa										Calidad Ordinaria						Calidad Buena					
	H6	m5	k5	j5	i5	h5	H7	p6	m6	k6	j6	i6	h6	g6	f7	e8	d8	f8	h8	g9	d9	M11	h11	d11	e11	b11	a12	
COTA NOMINAL	Agujero Unico	Apriete Fijo	Apriete Semifijo	Semi- Apriete	Apriete Suave	Deslizante	Agujero Unico	Solidarizado	Apriete Fijo	Apriete Semifijo	Semi- Apriete	Apriete Suave	Deslizante	Giratorio Duro	Giratorio Suave	Giratorio Facil	Giratorio Suelto	Agujero Unico	Deslizante	Giratorio Suave	Giratorio Facil	Giratorio Suelto	Agujero Unico	Deslizante	Giratorio Suave	Giratorio Facil	Giratorio Suelto	Giratorio Facil
1-3	+7 +0	+11 +6	+7 +2	+4 -1	+4 -5	+0 -5	+9 +0	+16 +9	+13 +6	+9 +2	+6 +1	+6 -1	+0 -7	-3 -10	-7 -16	-14 -28	-20 -45	+14 +0	+0 -14	-7 -21	-14 -39	-20 -60	+60 +0	+0 -60	-20 -80	-32 -92	-52 -112	-85 -175
3-6	+8 +0	+13 +8	+9 +4	+4 -1	+4 -5	+0 -5	+12 +0	+20 +12	+16 +8	+12 +4	+7 +1	+7 -1	+0 -8	-4 -12	-10 -22	-20 -38	-30 -60	+18 +0	+0 -18	-10 -28	-20 -50	-30 -78	+75 +0	+0 -75	-30 -105	-48 -123	-80 -130	-130 -250
6-10	+9 +0	+16 +10	+12 +6	+7 +1	+4 -2	+0 -6	+15 +0	+24 +15	+19 +10	+16 +6	+10 +1	+7 -2	+0 -9	-5 -14	-13 -28	-26 -47	-40 -76	+22 +0	+0 -22	-13 -35	-25 -61	-40 -98	+90 +0	+0 -90	-40 -130	-65 -155	-106 -195	-180 -330
10-18	+11 +0	+20 +12	+15 +7	+9 +1	+5 -3	+0 -8	+18 +0	+29 +18	+23 +12	+18 +7	+12 +1	+8 -3	+0 -11	-6 -17	-16 -34	-32 -59	-50 -93	+27 +0	+0 -27	-16 -43	-32 -75	-50 -120	+110 +0	+0 -110	-50 -160	-85 -195	-140 -250	-230 -410
18-30	+13 +0	+24 +15	+17 +8	+11 +2	+6 -4	+0 -9	+21 +0	+35 +22	+28 +16	+21 +8	+15 +2	+9 -4	+0 -13	-7 -20	-20 -41	-40 -73	-65 -117	+33 +0	+0 -33	-20 -63	-40 -92	-66 -149	+130 +0	+0 -130	-65 -195	-105 -235	-180 -310	-310 -520
30-50	+16 +0	+28 +17	+20 +9	+13 +2	+5 -5	+0 -11	+25 +0	+42 +26	+33 +17	+25 +9	+18 +2	+11 -5	+0 -16	-9 -25	-25 -50	-50 -89	-80 -142	+39 +0	+0 -39	-25 -64	-50 -112	-80 -180	+160 +0	+0 -160	-80 -240	-135 -296	-230 -390	-400 -650
50-80	+19 +0	+33 +20	+24 +11	+15 +2	+6 -7	+0 -13	+30 +0	+51 +32	+39 +20	+30 +11	+21 +2	+12 -7	+0 -19	-10 -29	-30 -60	-60 -106	-100 -174	+46 +0	+0 -46	-30 -76	-60 -134	-100 -220	+190 +0	+0 -190	-100 -290	-175 -365	-290 -480	-500 -800
80-120	+22 +0	+38 +23	+28 +13	+18 +3	+6 -9	+0 -16	+35 +0	+59 +37	+45 +23	+35 +13	+25 +3	+13 -9	+0 -22	-12 -34	-36 -71	-72 -126	-120 -207	+54 +0	+0 -54	-36 -90	-72 -159	-120 -260	+220 +0	+0 -220	-120 -340	-210 -430	-360 -680	-640 -990
120-180	+25 +0	+45 +27	+33 +15	+21 +3	+7 -11	+0 -18	+40 +0	+68 +43	+52 +27	+40 +16	+28 +3	+14 -11	+0 -25	-14 -39	-43 -83	-85 -148	-145 -245	+63 +0	+0 -63	-43 -106	-86 -185	-145 -305	+250 +0	+0 -250	-145 -395	-250 -600	-440 -690	-780 -1180
180-250	+29 +0	+51 +31	+37 +17	+24 +4	+7 -13	+0 -20	+46 +0	+76 +52	+60 +31	+46 +17	+33 +4	+16 -13	+0 -29	-15 -44	-50 -96	-100 -172	-170 -285	+72 +0	+0 -72	50 -122	-100 -215	-170 -355	+290 +0	+0 -290	-170 -460			
250-315	+32 +0	+57 +34	+43 +20	+27 +4	+7 -16	+0 -23	+52 +0	+82 +52	+66 +34	+52 +20	+36 +4	+16 -16	+0 -32	-17 -49	-56 -108	-110 -191	-190 -320	+81 +0	+0 -81	-56 -137	-110 -240	-190 -400	+320 +0	+0 -320	-190 -510			



# Sistema de Eje Unico

	Calidad Perfecta										Calidad Precisa										Calidad Ordinaria										Calidad Bosta				
	A5	M6	M6	M6	K6	J6	H6	H6	H6	P7	N7	M7	K7	J7	H7	G7	F7	E8	D9	H8	H8	F8	E9	D10	H11	D11	C11	B11	A12						
COTA NOMINAL	Eje Único	Apreté Fijo	Apreté Semifijo	Semi-Apretado	Apretado Suave	Apretado Suave	Deslizante	Giratorio Duro	Giratorio Suave	Giratorio Fácil	Giratorio Suelto	Eje Único	Deslizante	Giratorio Duro	Giratorio Suave	Giratorio Fácil	Giratorio Suelto	Eje Único	Deslizante	Giratorio Suave	Giratorio Fácil	Giratorio Suelto	Eje Único	Deslizante	Giratorio Suave	Giratorio Fácil	Giratorio Suelto	Giratorio Suelto							
1-3	+0	-4	+0	+3	+3	+7	+0	-7	-4	-4	+0	+0	+3	+3	+16	+28	+45	+0	+14	+21	+39	+60	+0	+60	+60	+80	+92	+112	+175						
3-6	+0	-5	-1	+4	+4	+8	+0	-8	-4	-4	+0	+0	+5	+5	+12	+16	+60	+0	+18	+28	+50	+78	+0	+75	+105	+123	+155	+250	+86						
6-10	+0	-7	-3	+5	+5	+9	+0	-9	-4	-4	+0	+0	+10	+8	+15	+20	+76	+0	+22	+35	+61	+96	+0	+90	+130	+155	+195	+330	+180						
10-18	+0	-9	-4	+6	+6	+11	+0	-11	-5	-5	+0	+0	+12	+10	+18	+24	+93	+0	+27	+43	+75	+120	+0	+110	+160	+195	+250	+410	+230						
18-30	+0	-11	-4	+8	+8	+13	+0	-14	-7	-7	+0	+0	+15	+12	+21	+28	+117	+0	+33	+53	+92	+149	+0	+130	+195	+235	+310	+520	+310						
30-50	+0	-12	-4	+10	+10	+16	+0	-17	-8	-8	+0	+0	+18	+14	+25	+34	+142	+0	+39	+64	+112	+180	+0	+160	+240	+295	+390	+650	+400						
50-80	+0	-14	-5	+13	+13	+19	+0	-21	-9	-9	+0	+0	+21	+18	+30	+40	+174	+0	+46	+76	+134	+220	+0	+190	+290	+365	+480	+800	+500						
80-120	+0	-16	-6	+16	+16	+22	+0	-24	-10	-10	+0	+0	+25	+22	+35	+47	+207	+0	+54	+90	+159	+260	+0	+220	+340	+430	+580	+990	+640						
120-180	+0	-20	-8	+18	+18	+25	+0	-28	-12	-12	+0	+0	+28	+26	+40	+54	+245	+0	+63	+106	+185	+305	+0	+260	+395	+500	+690	+1180	+780						
180-250	+0	-22	-8	+22	+22	+29	+0	-30	-14	-14	+0	+0	+33	+30	+46	+61	+285	+0	+72	+122	+215	+355	+0	+290	+460										
250-315	+0	-25	-9	+25	+25	+32	+0	-32	-14	-14	+0	+0	+36	+36	+52	+108	+170	+170	+81	+137	+240	+400	+0	+320	+510										

## Rugosidad

Una superficie perfecta es una abstracción matemática, ya que cualquier superficie real por perfecta que parezca, presentará irregularidades que se originan durante el proceso de fabricación.

Las irregularidades mayores son errores de forma, asociados a la variación de tamaño de una pieza, el paralelismo entre superficies, la planitud de una superficie o conicidad, redondez o cilindridad, que pueden medirse con instrumentos convencionales.

Las irregularidades menores son la ondulación y la rugosidad. La primera puede aparecer por la flexión de la pieza durante el maquinado, falta de homogeneidad del material, por la liberación de esfuerzos residuales, deformaciones por tratamiento térmico, por vibraciones, etc.

La segunda la provoca el elemento utilizado para producir el maquinado, por ejemplo la herramienta de corte o la piedra de rectificado entre otros.

La siguiente tabla muestra los rangos típicos de valores de rugosidad superficial que pueden obtenerse mediante métodos de fabricación:

Rugosidad promedio en micrómetros - Ra $\mu\text{m}$												
Proceso	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025
Arenado												
Aserrado												
Brochado												
Bruñido												
Cepillado												
Cizallado												
Corte con soplete												
Corte electroquímico												
Corte láser												
Electroerosión												
Estampado												
Esmerilado												
Extrusión												
Forjado												
Fresado												
Fundicion a la cera perdida												
Fundicion a presión												
Fundicion en arena												
Fundicion enc oquilla												
Granallado												
Laminado en caliente												
Laminado en frío												
Lapidado												
Limado												
Mandrilado												
Mortajado												
Oxicorte												
Pulido												
Recalcado												
Rectificado												
Superacabado												
Taladrado												
Torneado												
Trefilado												
	Aplicación Frecuente								Aplicación menos frecuente			



Debe tenerse presente que cuando se desea un mejor acabado superficial, crece el costo de producción de una superficie maquinada, razón por la cual el diseñador deberá indicar claramente cual es el valor deseado, ya que no siempre, un buen acabado superficial redundará en un mejor funcionamiento de la pieza, como sucede cuando desea una lubricación eficiente y por tanto una capa de aceite debe mantenerse sobre la superficie.

Por otra parte, el grado de terminación de una pieza debe limitarse a las superficies que efectivamente van a estar en contacto y no a toda la pieza en general, lo cual redundaría en una inversión en horas de maquinado innecesarias para el correcto funcionamiento de la pieza.

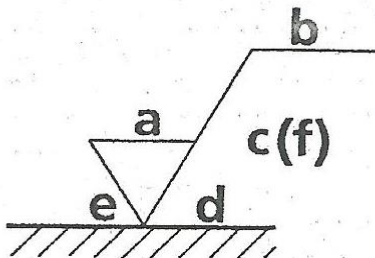
### Conceptos

En la actualidad el método de medición de la rugosidad más popular es el que se basa en un palpador de diamante con un radio de la punta de 2,5 ó 10  $\mu\text{m}$ , que recorre una pequeña longitud denominada longitud de muestra ( $l_e$ ), sobre la superficie analizada. Los valores normalizados para esta longitud de muestreo son: 0.08, 0.25, 0.8; 2.5; 8 y 25 mm.

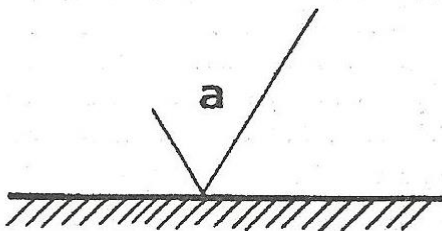
### Recomendaciones practicas para medir la rugosidad de una superficie

De acuerdo con la norma ISO 1302-1978, las especificaciones del acabado superficial deberán colocarse en relación con el símbolo básico como se muestra a continuación:

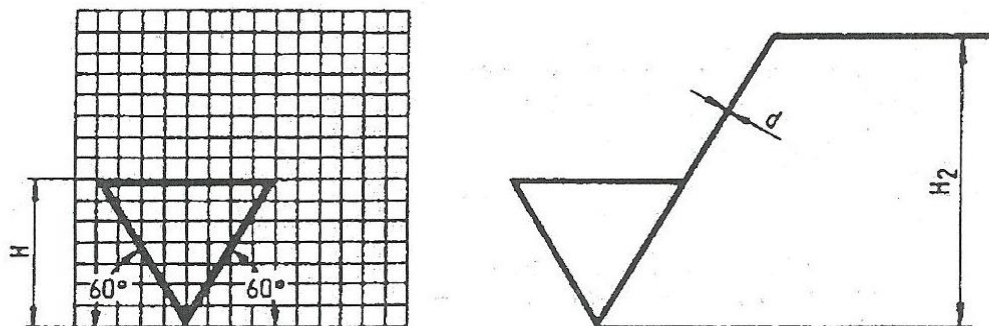
- **a:** Valor  $R_a$  de rugosidad en micrones o micro pulgadas o número de grados de rugosidad N1 a N12
- **b:** Método de producción, tratamiento o recubrimiento
- **c:** Longitud de muestreo
- **d:** Dirección de marcado
- **e:** Cantidad que se removerá mediante maquinado
- **f:** Otros parámetros de rugosidad (entre paréntesis)



Sin embargo es muy común encontrar sólo una indicación como la siguiente:



El símbolo debe dibujarse conforme a lo indicado en la figura siguiente.



Los distintos tamaños de medidas a utilizar, se establecen en la tabla.

Altura de los números y de la letra mayúscula	3,5	5	7	10	14	20
Grosor del trazo de los símbolos (d)	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
Altura (H)	5	7	10	14	20	28
Altura (H <sub>2</sub> )	10	14	20	28	40	56

A continuación se dan recomendaciones prácticas de como proceder, para completar el símbolo.

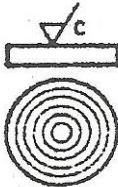

1. Determinar si la medición será en  $\mu\text{m}$  o en  $\mu\text{pulgadas}$ .
2. Si no se menciona ningún parámetro especial, se entenderá que la medición será con el parámetro Ra.
3. El valor numérico mostrado indicará el valor máximo admisible y cualquier valor menor será aceptable.
4. La longitud de muestreo que debe utilizarse, si no se especifica ninguna, será 0,8 mm o .030 pulgadas.
5. La longitud de evaluación deberá fijarse igual a 5 veces la longitud de muestreo.
6. La medición se hará perpendicular a las marcas del maquinado, sino hay una dirección preferencial, será necesario realizar tres mediciones en posiciones angulares diferentes y reportar el mayor valor.
7. Los parámetros más utilizados son Ra, Rz, y Ry, por lo que pueden encontrarse en cualquier rugosímetro. Sin embargo los dos últimos están definidos en forma diferente en las normas DIN y en las normas JIS e ISO, por lo tanto, habrán de seleccionarse de acuerdo con los valores que se requieran.
8. Cuando este indicado un parámetro de rugosidad diferente a los anteriores, debe contarse con un rugosímetro capaz de medirlo.

El principal criterio de rugosidad (Ra), puede indicarse con el correspondiente número de grado de rugosidad de acuerdo a la tabla siguiente, para evitar la mala interpretación de valores numéricos, los cuales pueden anotarse con diferentes unidades (micrones o micro pulgadas)




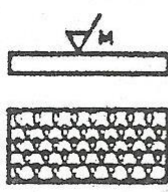
Valores de rugosidad Ra		Números de grados de rugosidad
$\mu\text{m}$	$\mu\text{pulgadas}$	
50	2000	N12
25	1000	N11
12,5	500	N10
6,3	250	N9
3,2	125	N8
1,6	63	N7
0,8	32	N6
0,4	16	N5
0,2	8	N4
0,1	4	N3
0,05	2	N2
0,025	1	N1

#### Símbolos para la dirección de marcado

La tabla siguiente muestra los símbolos de la norma ISO 1302-1978 que se utilizan para indicar en los dibujos las direcciones de las marcas producidas por el proceso de maquinado.

C	Aproximadamente circular en relación con el centro de la superficie en la cual se aplica el símbolo.	
R	Aproximadamente radial en relación con el centro de la superficie en la cual se aplica el símbolo.	



=	Paralelo al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo.	
⊥	Perpendicular al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo.	
X	Cruzado en dos direcciones inclinadas con relación al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo.	
M	Multidireccional	

## Rugosímetro

El rugosímetro es un dispositivo dotado de un palpador de diamante que, desplazándolo una cierta longitud sobre el material, es capaz de ampliar el paisaje de crestas y valles que presenta su superficie real y que no puede ser observada por el ojo humano.

Además, este equipo puede determinar una serie de parámetros que aportan el valor numérico de la rugosidad de acuerdo con las reglas de normalización a las que este tipo de sistemas de medida están sujetos. Para determinar dichos parámetros, definidos como Ra o Rz, el propio equipo divide su recorrido en seis partes: la primera etapa la emplea para la toma de referencias y la corrección de curvaturas; y sobre las otras cinco, realiza las medidas. Se considera en general una distancia total de entre 0.08 mm a 25.0 mm.

### PARTES DE UN RUGOSIMETRO

**Cabeza palpadora:** Encargada de realizar el contacto y posterior recorrido sobre la superficie de una pieza para medir la rugosidad.

**El transductor:** Un dispositivo que obtiene la información física y la transforma en señales o impulsos eléctricos.

**Calculador:** Elemento que realiza el cálculo matemático sobre las longitudes, alturas y anchos del perfil - según el parámetro que se esté evaluando- para expresar el nivel de rugosidad en micras, lectura que se puede hacer en la pantalla o en un documento gráfico.

**Caja de arrastre:** Mecanismo que permite al operario desplazar el instrumento con mayor facilidad sobre el material.

**Filtro eléctrico:** Elementos que discriminan o depuran la frecuencia de la señal eléctrica para eliminar las ondulaciones o disminuir la amplitud de sus componentes a partir de una longitud de onda de corte, de modo que el operario únicamente obtenga los datos de rugosidad de la superficie.

### TIPOS DE REGUSIMETRO

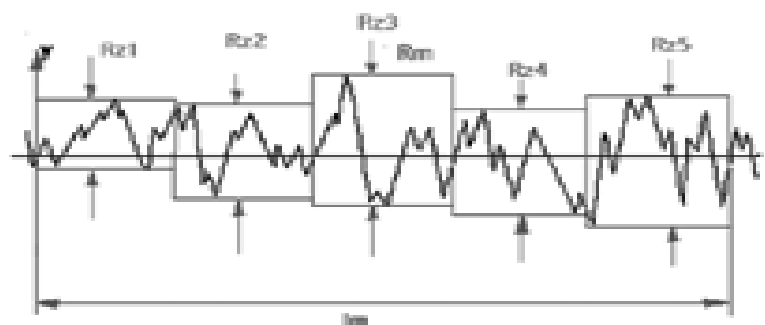
- **Rugosímetro de contacto:** Los primeros se caracterizan porque tienen una punta o palpador, cuya función es tomar los datos, previo barrido sobre la pieza.
- **Rugosímetro de no contacto:** Son aquellos que analizan el material mediante una línea láser. (Algunos rugosímetros de laser integran un palpador, estos rugosímetros son de alto costo).
- **Rugosímetro con palpador:** como su nombre lo indica, estos equipos se componen de un palpador, que se desplaza automáticamente y realiza un recorrido sobre la superficie de la pieza a analizar y un amplificador que muestra o registra el estado superficial, es decir las irregularidades que encuentra durante el muestreo.
- **Rugosímetro de palpador inductivo:** en este equipo el desplazamiento de la punta, al describir las irregularidades del perfil, modifica la longitud del entre-hierro del circuito magnético, y con ello el flujo del campo magnético que lo atraviesa, generando así una señal eléctrica.

- **Rugosímetro de palpador capacitivo:** el desplazamiento vertical del palpador aproxima las dos láminas de un condensador, modificando su capacidad y con ella la señal eléctrica.
- **Rugosímetro de palpador piezoeléctrico:** en este instrumento el desplazamiento de la aguja del palpador deforma elásticamente un material piezoeléctrico, el cual responde a dicha deformación y genera una señal eléctrica. Dicho de otro modo, cuándo el material entra en contacto con el palpador envía una señal eléctrica o voltaje que luego es convertido en un dato para indicar su grado de rugosidad.
- **Rugosímetro de patín mecánico:** en este equipo el patín se encarga de describir las ondulaciones de la superficie, mientras el palpador o punta recorre los picos y valles del perfil, de esta manera la ondulación y rugosidad son evaluadas mecánicamente por separado.
- **Rugosímetro láser con palpador:** en estos equipos el sistema de amplificación en lugar de eléctrico, como los rugosímetros con palpador convencionales, es interferométrico (amplificación de luz por la emisión estimulante de la radiación) por lo que el equipo es preciso y la frecuencia láser estable.
- **Rugosímetro con palpador láser:** la característica principal de estos equipos es que no tienen un palpador físico, sino que la aguja o punta de medida se sustituye por un láser, cuya longitud de onda es de 800 nm. El diodo láser emite un rayo infrarrojo que es colimado, es decir generado en el interior de una cámara entre dos espejos o lentes y posteriormente, dirigido a una lente convergente, cuyo foco está situado en el exterior.

### Tipos de parámetros de la lectura

- Existen 3 tipos de parámetros que son los siguientes:
- **Ra:** Que es el promedio aritmético de todas las distancias absolutas del perfil de rugosidad, desde la línea central dentro de la longitud de medición de la línea media.
- **Ry:** Que es la mayor de las alturas pico a valle a lo largo de la totalidad de la longitud de medición.

- **RZ:** La diferencia entre el promedio de las alturas de los cinco picos más altos y la altura promedio de los cinco valles más profundos.



- **Rc** = inclinaciones.
- **Rw** = Ondulaciones.
- **Rx** = Surcos

