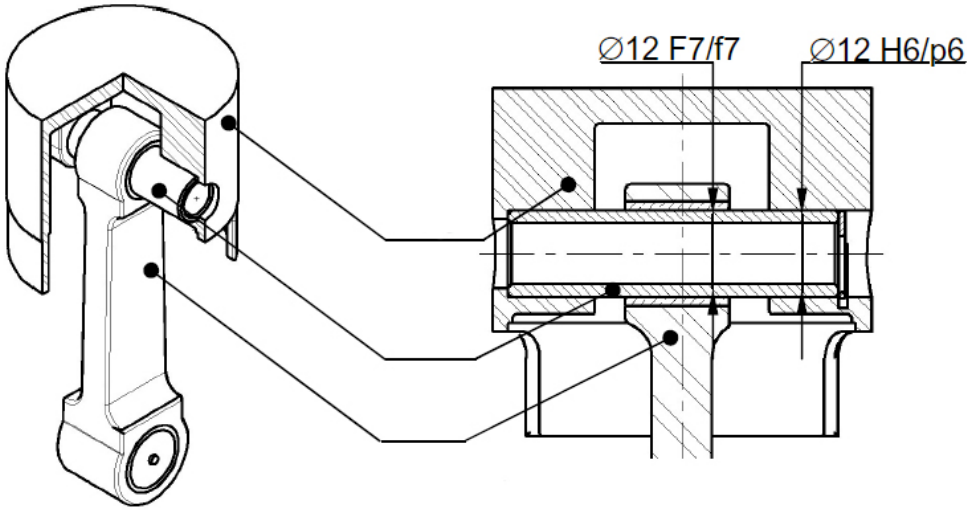
Higinio Rubio Alonso

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TOLERANCIAS DIMENSIONALES



DISEÑO MECÁNICO

INGENIERÍA INDUSTRIAL

INTRODUCCIÓN

- Evolución tecnológica
  - Necesidad de piezas más precisas
    - Creación de normas
      - Estandarización de las mismas
- Las tolerancias permiten generar piezas estandarizadas para enlazar unas con otras y generar conjuntos, mecanismos, más complejos
- También permiten sustituir las piezas deterioradas por unas nuevas que cumplan las características adecuadas para que las máquinas funcionen correctamente
- **TOLERANCIA: Es el espacio permisible de variación, en la dimensión nominal o el valor especificado de una pieza manufacturada**
- El propósito de una tolerancia es especificar un margen para las imperfecciones en la manufactura de una parte o un componente

INTRODUCCIÓN

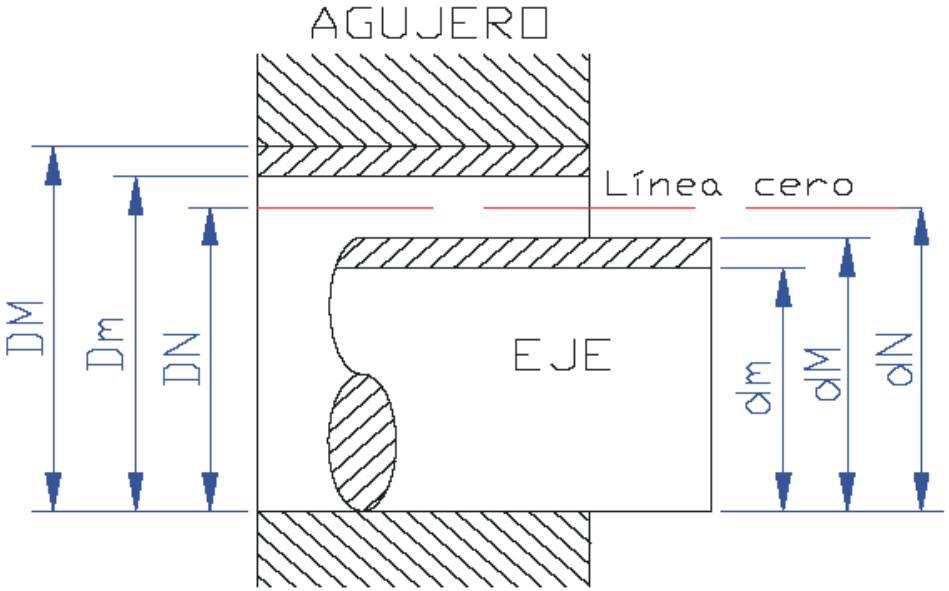
- La fabricación en serie de elementos mecánicos se basa en el principio de intercambiabilidad entre elementos con las mismas especificaciones
- No es posible conseguir dimensiones exactas
  - Dos piezas nunca serán exactamente iguales, por variaciones en las máquinas o en los procesos de fabricación, materiales, etc.
- En la práctica, lo importante es que las piezas cumplan su función, por esto se aceptan variaciones dentro de un intervalo ➔ **TOLERANCIAS**
- Tipos de tolerancias
  - **TOLERANCIAS DIMENSIONALES:** afectan a las medidas de una cota de la pieza
  - **TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS:** afectan a la forma y posición de la geometría de la pieza

INTRODUCCIÓN

- Las **tolerancias dimensionales** fijan un rango de valores permitidos para las cotas funcionales de una pieza y afectan sólo a las dimensiones de la misma
- **Cotas funcionales**: cota que tiene una importancia esencial en la función o funciones asignadas a una pieza
- Se usan los términos **eje y agujero**, cuando se trata de una pareja de elementos que encajan entre sí, independientemente de la forma de la sección, aunque la mayoría está formada por elementos cilíndricos, pero no tienen porque ser de revolución
- Por convenio, las variables y definiciones relativas a **ejes** se representan con **minúsculas** y todas las relativas a **agujeros** con **mayúsculas**

DEFINICIONES

- **Dimensión**: cifra que expresa el valor numérico de una longitud o un ángulo
- **Dimensión nominal**: valor teórico que tiene una dimensión, respecto al que se consideran las medidas límites (eje: **dN**, agujero: **DN**)
- **Dimensión efectiva**: valor real de una dimensión que es determinada midiendo sobre la pieza ya construida (eje: **de**, agujero: **DE**)
- **Dimensiones límites**: valores extremos que puede tomar la dimensión efectiva (máxima en ejes **dM**, o en agujeros: **DM**; mínima en ejes **dm**, o en agujeros **Dm**)
- **Línea cero**: línea recta que sirve de referencia para las diferencias y que corresponde a la dimensión nominal



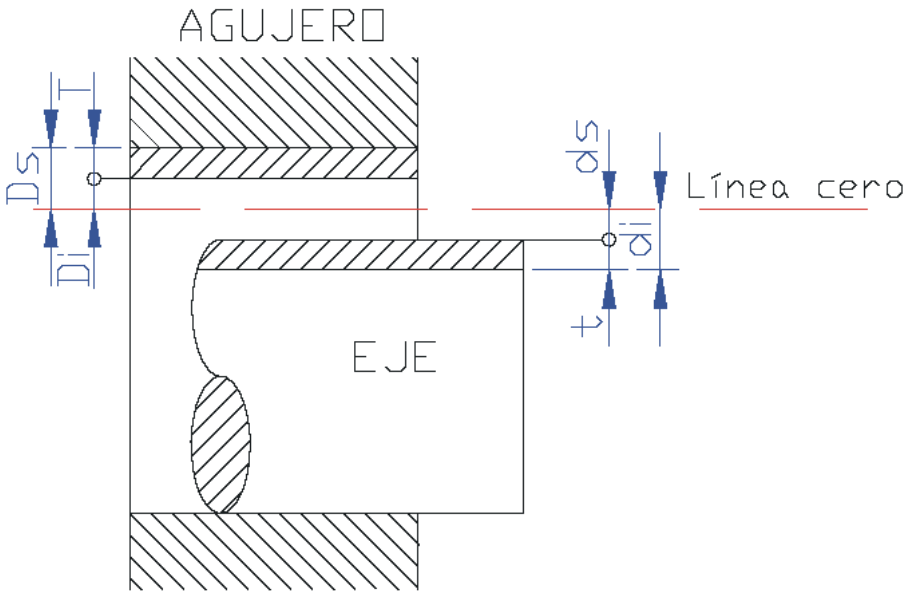
DEFINICIONES

- **Diferencia efectiva**: diferencia entre la medida efectiva y la nominal
- **Diferencia superior o inferior** (ejes: **ds**, **di**; agujeros: **Ds**, **Di**): es la diferencia entre la dimensión máxima/mínima y la dimensión nominal correspondiente

$$Ds = DM - DN$$
$$Di = Dm - DN$$

$$ds = dM - dN$$
$$di = dm - dN$$

- **Diferencia fundamental**: desviaciones elegida convenientemente para de la zona de línea cero



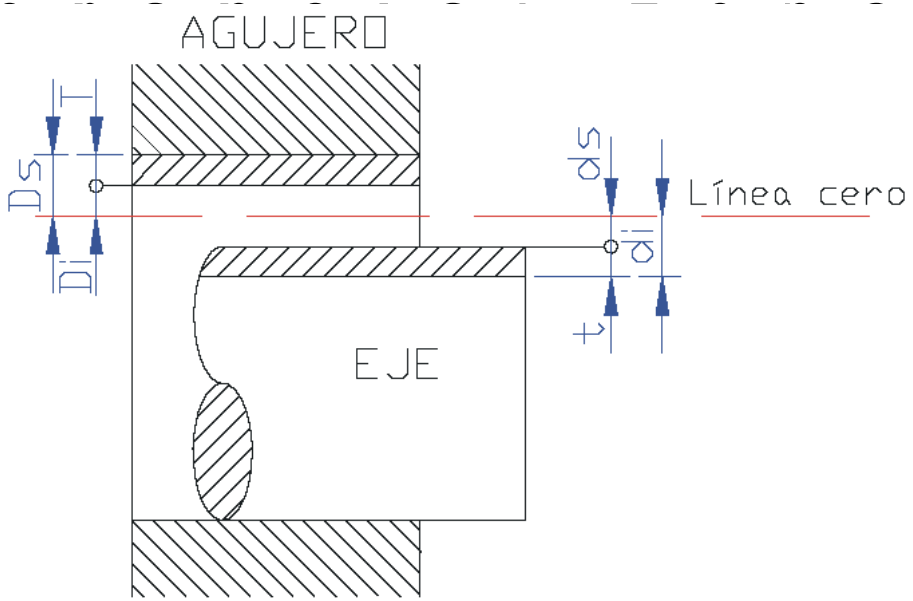
DEFINICIONES

- **Tolerancia**: es la variación máxima que puede tener la medida de la pieza (ejes: **t**, agujeros: **T**)

T = Ds – Di
T = DM - Dm

t = ds - di
t = dM - dm

- **Z o n a d e t o l**
cuya amplitud es el valor de tolerancia
- **Tolerancia fundamental**: determina d i m e n s i o n e s calidad de trabajo



DEFINICIONES

EJES

$$ds = di - t$$

$$dM = dm + t$$

$$t = dM - dm = ds - di$$

$$dM = dN + ds$$

$$dm = dN + di$$

AGUJEROS

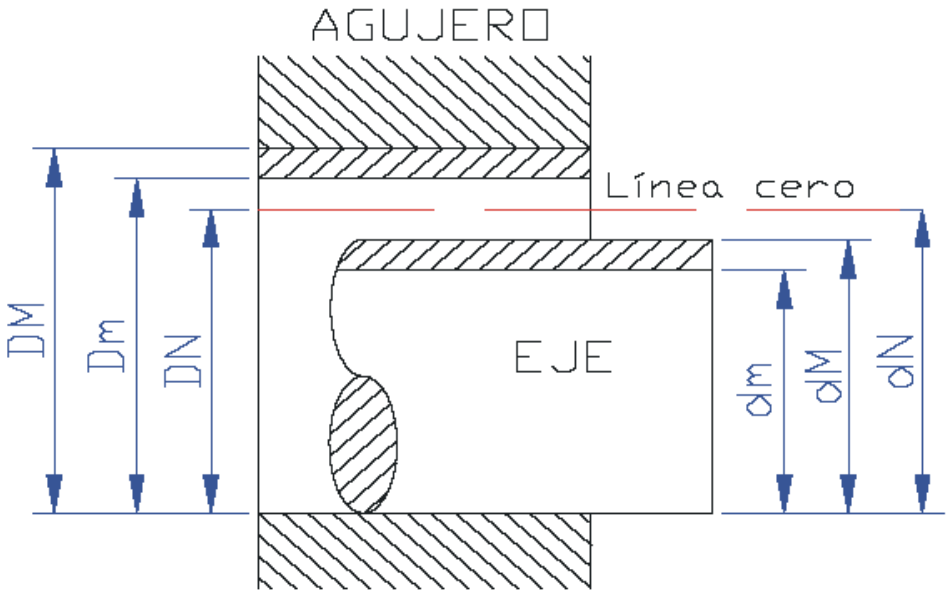
$$Ds = Di + T$$

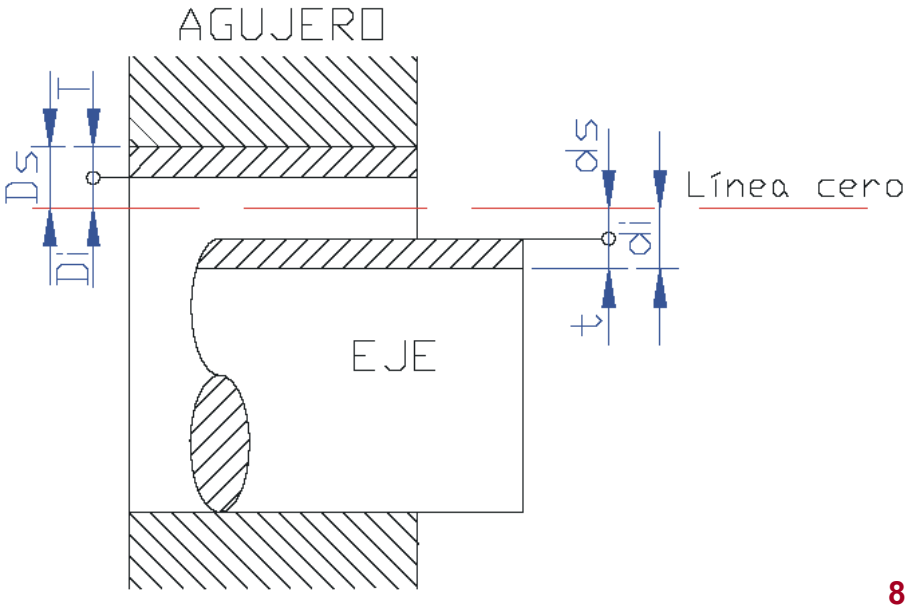
$$DM = Dm + T$$

$$T = DM - Dm = Ds - Di$$

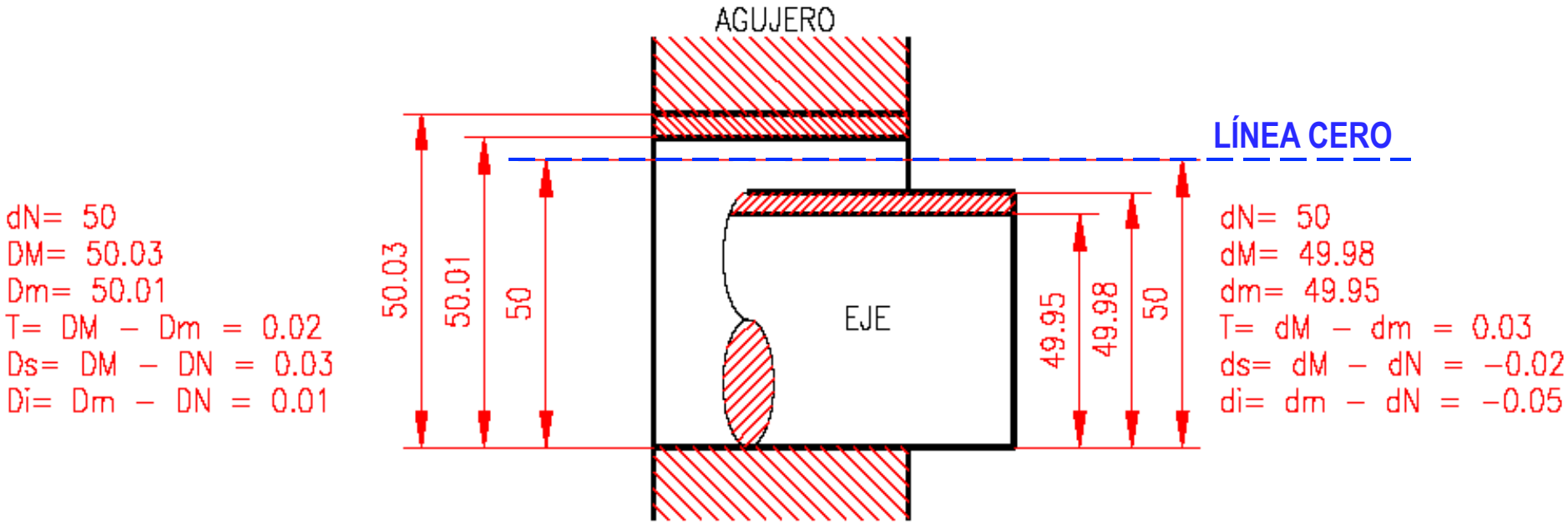
$$DM = DN + Ds$$

$$Dm = DN + Di$$





DEFINICIONES - Ejemplo



Para el agujero:

DN = 50

DM = 50,03

Dm = 50,01

T = DM – Dm = 0,02

Ds = DM – DN = 0,03

Di = Dm – DN = 0,01

Para el eje:

dN = 50

dM = 49,98

dm = 49,95

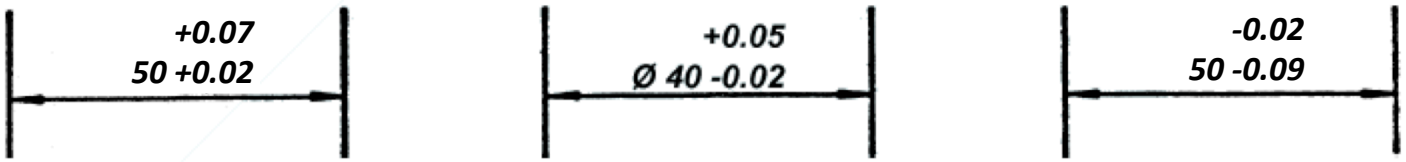
t = dM – dm = 0,03

ds = dM – dN = -0,02

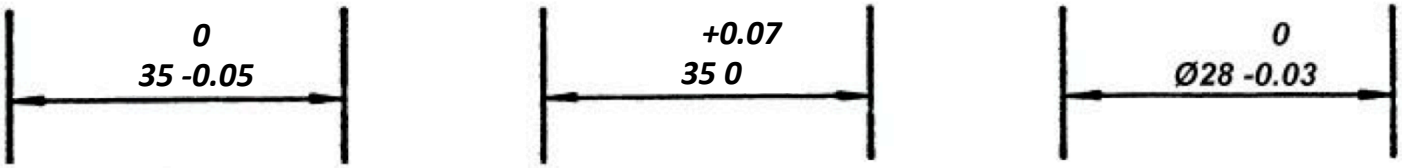
di = dm – dN = -0,05

REPRESENTACIÓN DE LAS TOLERANCIAS

- Las tolerancias dimensionales se pueden representar de varias formas:
  - **Con su medida nominal seguida de las desviaciones límites**
    Se anota la diferencia superior en la parte alta y la diferencia inferior en la parte baja, ya se trate de un agujero como de un eje



  - **Si una de las diferencias es nula se expresa por la cifra 0**



  - **Si la tolerancia es simétrica respecto a la medida nominal solo se anota el valor de la diferencia, precedido del signo ±**

REPRESENTACIÓN DE LAS TOLERANCIAS

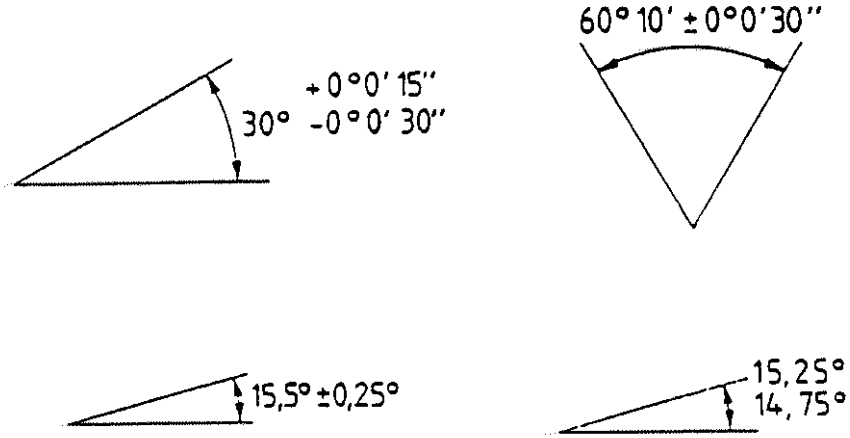
- En casos especiales, **la tolerancia se indica con las dos medidas límites** y si la medida está limitada solo en un sentido, **la tolerancia se representa colocando la palabra "min" o "max"**, detrás de la medida

- Cuando, por necesidades de fabricación u otras causas, se deben poner las diferencias en otras unidades diferentes al milímetro, las cifras se acompañan de la unidad correspondiente

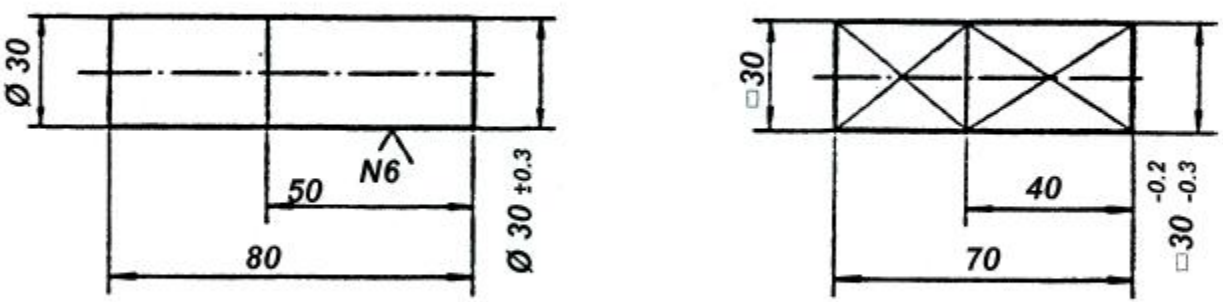
- Si es la misma unidad para todas las diferencias del dibujo, esto se indicará en una nota general colocada en la proximidad del recuadro de inscripción

REPRESENTACIÓN DE LAS TOLERANCIAS

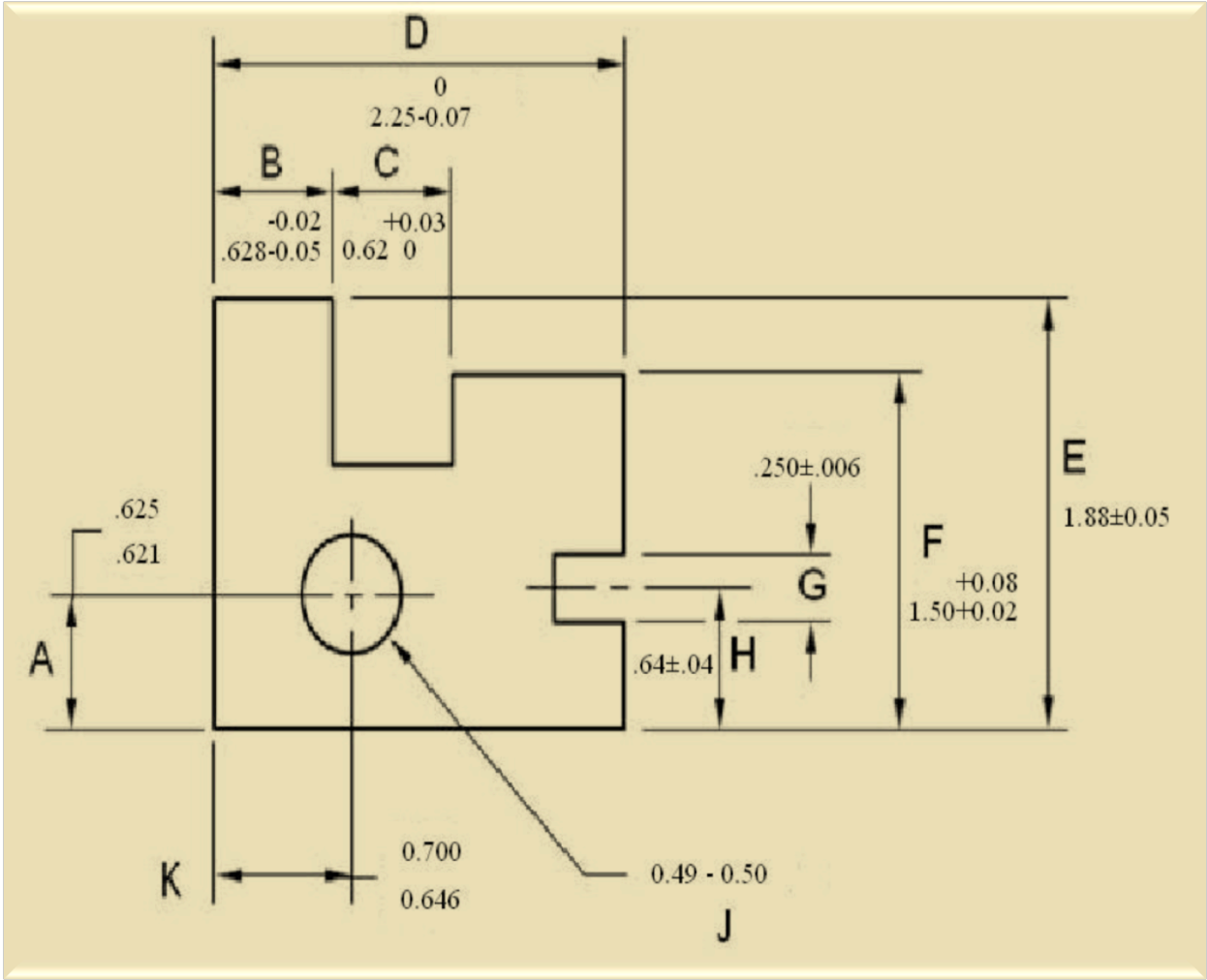
- Las anteriores notaciones se aplican también a las medidas angulares



- Se expresan las dos desviaciones con el mismo número de decimales, salvo en el caso de que una de las dos desviaciones sea nula
- En el caso de que la tolerancia afecte solamente a una parte de la pieza, se debe determinar su alcance



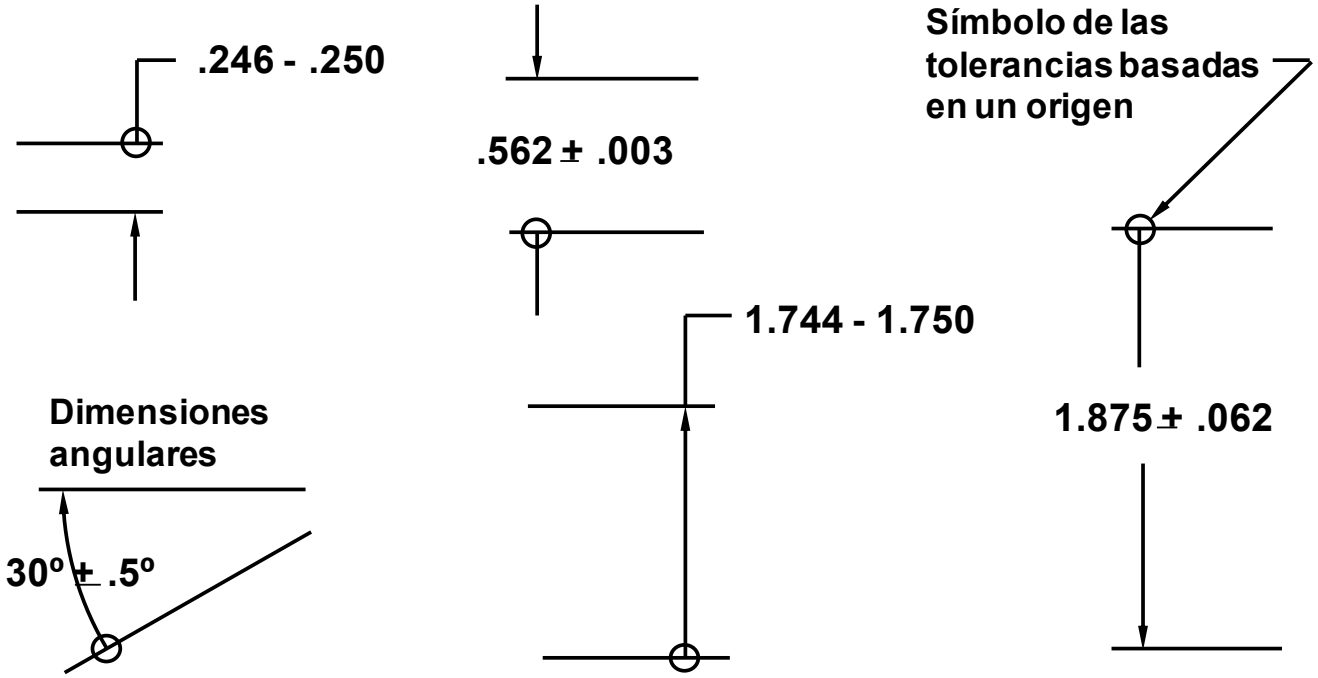
REPRESENTACIÓN DE TOLERANCIAS
Ejemplo



Variable	Valor mínimo (mm)	Valor máximo (mm)
A	0.621	0.625
B	0.623	0.626
C	0.620	0.623
D	2.18	2.25
E	1.83	1.93
F	1.52	1.58
G	0.244	0.256
H	0.60	0.68
J	0.49	0.50
K	0.646	0.700

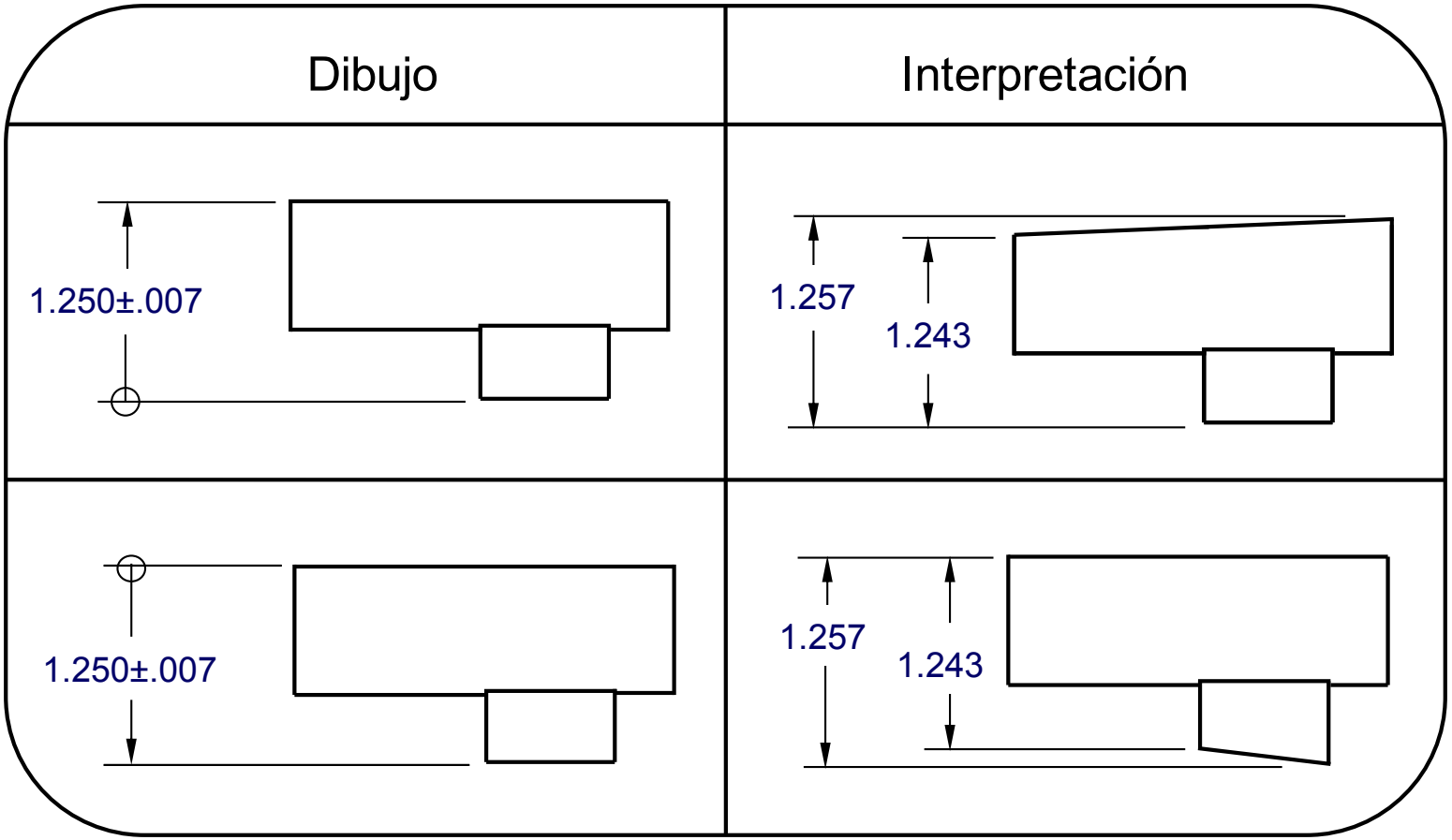
REPRESENTACIÓN DE LAS TOLERANCIAS

- Los límites de la desviación pueden fijarse respecto a un origen, sustituyendo la punta de flecha por un pequeño círculo, donde se cruza la línea de cota y la auxiliar de cota
- Este tipo de representación de tolerancias es sumamente importante cuando la forma, orientación o función resultante de una característica depende de su relación con otra propiedad de la pieza a representar
- A pesar de que esta notación no es muy utilizada, el concepto es muy importante para la posterior definición de las tolerancias geométricas



REPRESENTACIÓN DE LAS TOLERANCIAS

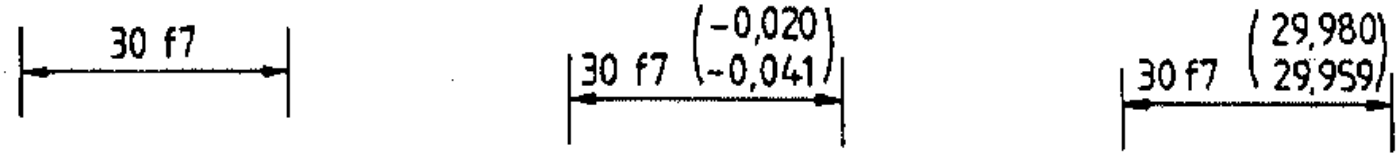
- Si la tolerancia se indica a partir de un origen distinto, la interpretación de la misma es diferente



REPRESENTACIÓN NORMALIZADA ISO

- En la notación normalizada **ISO** las medidas con tolerancia quedan definidas por tres símbolos:

- La medida nominal (en milímetros)
- Una letra representativa de la diferencia fundamental en valor y signo que indica la posición de la zona de tolerancia (se usan letras minúsculas para ejes y letras mayúsculas para agujeros)
- Un número representativo de la anchura de la zona de tolerancia (calidad de la tolerancia)



CALIDAD DE LAS TOLERANCIAS

- El sistema de representación de tolerancias ISO considera 18 calidades para dimensiones nominales entre 0 y 500 mm ***Norma UNE 4-040-81 (ISO 286 (1)-62)***
  - Calidades de 01 a 3 en ejes y 01 a 4 en agujeros
    Calibres y piezas de alta precisión
  - Calidades de 4 a 11 en ejes y 5 a 11 en agujeros
    Piezas que van a estar sometidas a ajustes
  - Calidades superiores a 11
    Piezas aisladas que no requieren un acabado tan fino
- **Índice de calidad** es el grupo de tolerancias que se corresponde con un mismo grado de precisión para cualquier grupo de diámetros
  - La temperatura de medición adoptada es de **20ºC**
  - Las dimensiones de la medidas: **mm**
  - Las dimensiones de las tolerancias y diferencias: **µm**
- **A mayor calidad de la pieza menor será su tolerancia** (y menor el índice de calidad)

TABLA DE CALIDADES DE TOLERANCIAS

Grupos de Diámetros (mm)	CALIDADES µm																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
d ≤ 3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3 < d ≤ 6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6 < d ≤ 10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10 < d ≤ 18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18 < d ≤ 30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30 < d ≤ 50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50 < d ≤ 80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80 < d ≤ 120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120 < d ≤180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180 < d ≤250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250 < d ≤315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315 < d ≤400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400 < d ≤500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
	Ultrapre--cisión		Calibre y piezas de gran precisión			Piezas o elementos destinados a ajustar								Piezas o elementos que no han de ajustar				

CALIDAD DE LAS TOLERANCIAS

TOLERANCIAS FUNDAMENTALES

TOLERANCIAS PARA CADA GRUPO DE DIMENSIONES Y PARA CADA ÍNDICE DE CALIDAD

18 grados o calidades de tolerancias

IT01, IT0, IT1, IT2, …, IT16

13 Grupos de Diámetros

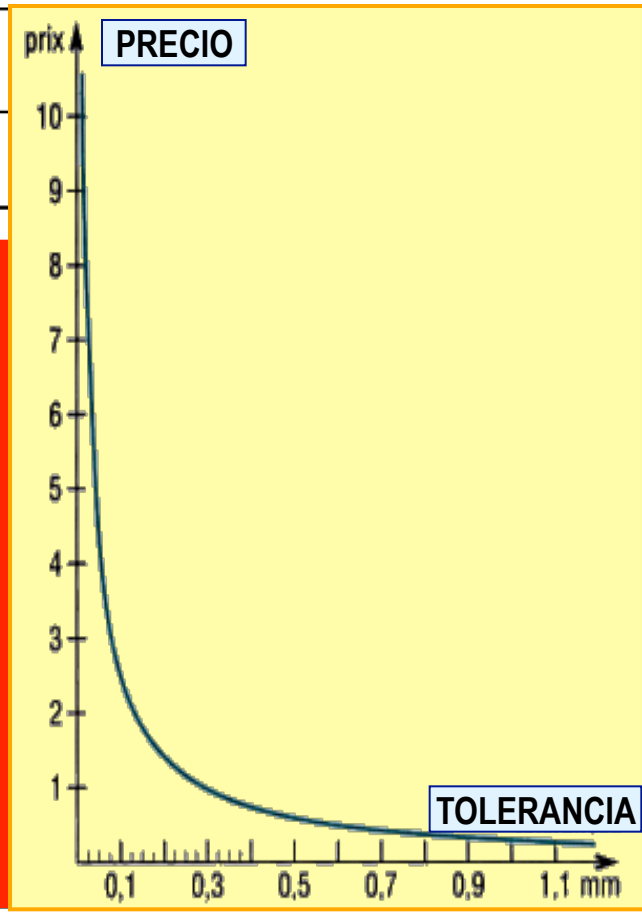
0-500 mm

Grupos de Diámetros (mm)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
d ≤ 3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3 < d ≤ 6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6 < d ≤ 10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10 < d ≤ 18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18 < d ≤ 30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30 < d ≤ 50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50 < d ≤ 80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80 < d ≤ 120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120 < d ≤180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180 < d ≤250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250 < d ≤315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315 < d ≤400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400 < d ≤500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
	Ultrapre--cisión		Calibre y piezas de gran precisión			Piezas o elementos destinados a ajustar								Piezas o elementos que no han de ajustar				

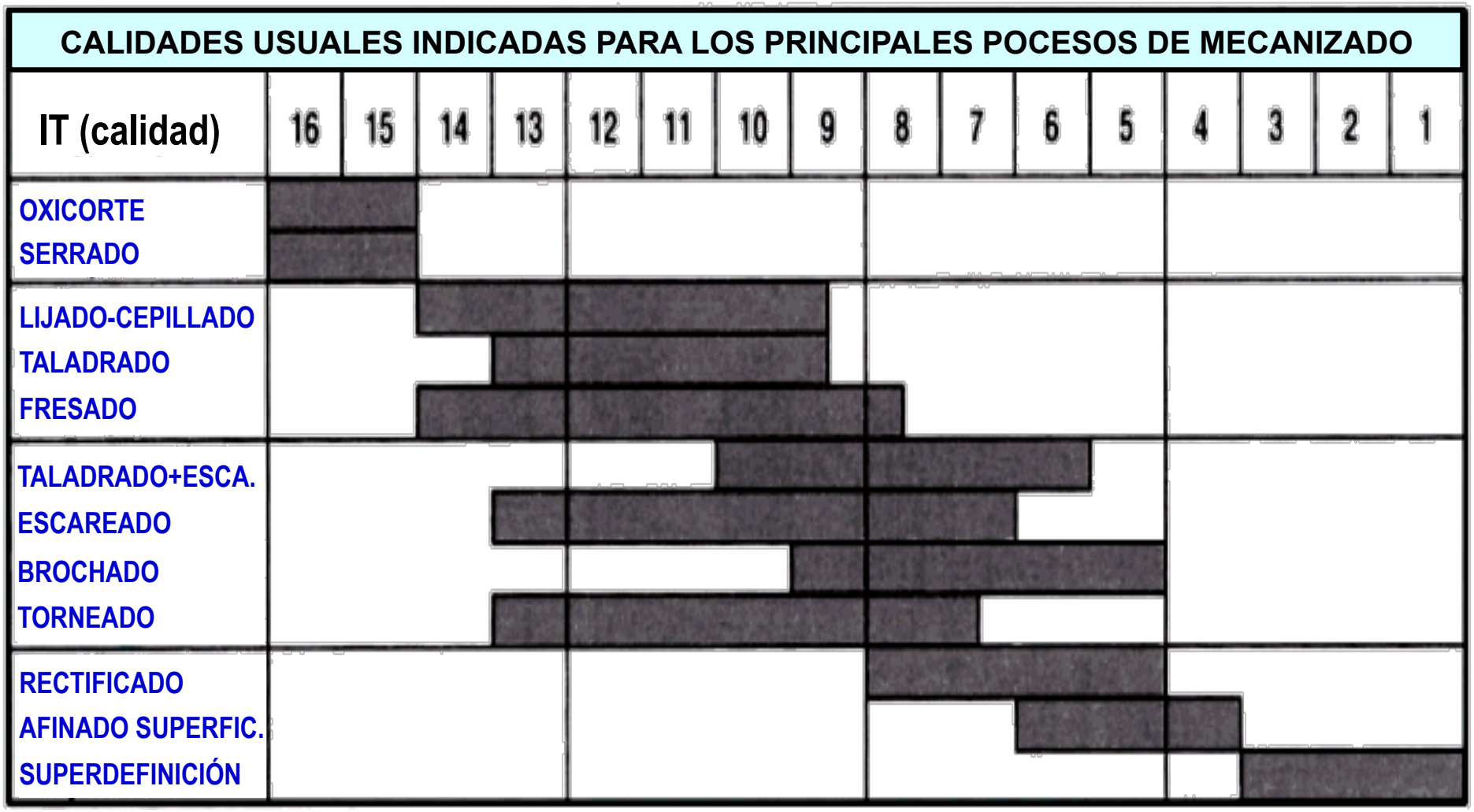
Desde la fabricación más precisa a la menos exigente

CALIDAD TOLERANCIA-PRECIO

M (mm)	CALIDADES DE LA TOLERANCIA												
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11
≤3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60
3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75
6 a10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90
10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110
18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130
30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160
50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190
80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220
120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250
180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290
250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320
315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360
400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400



CALIDAD TOLERANCIA-PROCESO MECANIZADO



DESIGNACIÓN DE TOLERANCIAS (ISO R286)

- Fórmula general (para calidades de IT05 a IT16):
  - **ITn** = Tolerancia de Calidad "**n**" expresada en micras (**µm**)

$$ITn = k \cdot \left(0{,}45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0{,}001 \cdot D\right)$$

  - **D** = Media geométrica de los valores extremos de cada grupo de diámetros nominales (**D_1 < d < D_2**), expresados en **mm**

$$D = \sqrt{D_1 \cdot D_2}$$

  - **k** = Factor multiplicador, adimensional

INDICE DE TOLERANCIA	IT05	IT06	IT07	IT08	IT09	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
k	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000

  - **0,001·D** = Término que tiene en cuenta las irregularidades de medidas crecientes proporcionalmente al diámetro y es perceptible con diámetros superiores a 80 mm

DESIGNACIÓN DE TOLERANCIAS (ISO R286)
Ejemplo

Ejemplo: Calcular las tolerancias de un eje de 40 mm de diámetro correspondientes a las calidades 6, 7, 8 y 9

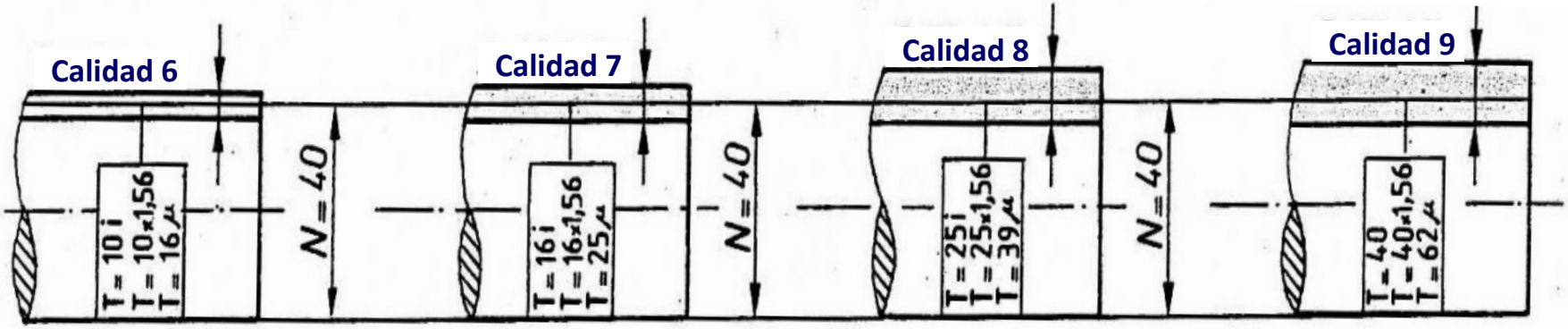
$$\boxed{D = \sqrt{30 \cdot 50} = 38{,}73 \text{ mm}}$$

$$IT\,6 = \left(0{,}45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0{,}001 \cdot D\right) \cdot k = \left(0{,}45 \cdot \sqrt[3]{38{,}73} + 0{,}001 \cdot 38{,}73\right) \cdot 10 = 15{,}61 \approx 16\mu$$

$$IT\,7 = \left(0{,}45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0{,}001 \cdot D\right) \cdot k = \left(0{,}45 \cdot \sqrt[3]{38{,}73} + 0{,}001 \cdot 38{,}73\right) \cdot 16 = 24{,}98 \approx 25\mu$$

$$IT\,8 = \left(0{,}45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0{,}001 \cdot D\right) \cdot k = \left(0{,}45 \cdot \sqrt[3]{38{,}73} + 0{,}001 \cdot 38{,}73\right) \cdot 25 = 39{,}03 \approx 39\mu$$

$$IT\,9 = \left(0{,}45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0{,}001 \cdot D\right) \cdot k = \left(0{,}45 \cdot \sqrt[3]{38{,}73} + 0{,}001 \cdot 38{,}73\right) \cdot 40 = 62{,}45 \approx 62\mu$$



DESIGNACIÓN DE TOLERANCIAS (ISO R286)

- Fórmulas para calidades de IT01 a IT0:

$$IT01 = 0,3 + 0,008 \cdot D \qquad IT0 = 0,5 + 0,012 \cdot D$$

- Fórmula para calidades de IT1 a IT4:

$$ITn = (1,6)^{(n-1)} \cdot (0,8 + 0,020 \cdot D)$$

Ejemplo: Calcular las tolerancias de un eje de 40 mm de diámetro correspondientes a las calidades 01 a 4

$$D = \sqrt{30 \cdot 50} = 38,73 \text{ mm}$$

$$IT\ 01 = 0,3 + 0,008 \cdot 38,73 = 0,61 \approx 0,6\ \mu m$$

$$IT\ 0 = 0,5 + 0,012 \cdot 38,73 = 0,96 \approx 1\ \mu m$$

$$IT\ 1 = 1,6^0 \cdot (0,8 + 0,02 \cdot 38,73) = 0,8 + 0,02 \cdot 38,73 = 1,57 \approx 1,5\ \mu m$$

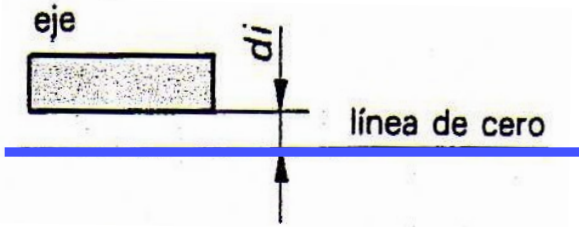
$$IT\ 2 = 1,6^1 \cdot (0,8 + 0,02 \cdot 38,73) = 1,6^1 \cdot IT1 = 1,6^1 \cdot 1,57 = 2,51 \approx 2,5\ \mu m$$

$$IT\ 3 = 1,6^2 \cdot IT1 = 1,6^2 \cdot 1,57 = 4,02 \approx 4\ \mu m$$

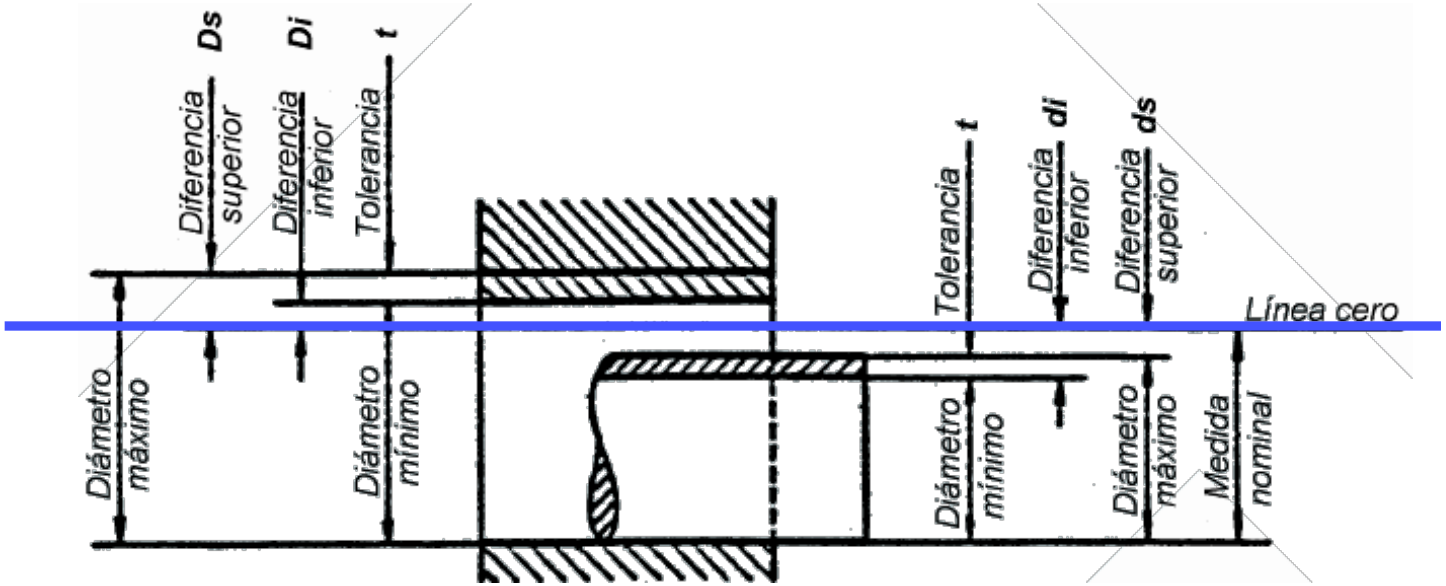
$$IT\ 4 = 1,6^3 \cdot IT1 = 1,6^3 \cdot 1,57 = 6,43 \approx 7\ \mu m$$

POSICIÓN DE LA ZONA DE TOLERANCIA

- La posición de la zona de tolerancia queda determinada por la distancia entre la línea de referencia (línea cero) y la línea límite de la zona de tolerancia más próxima a la línea de referencia

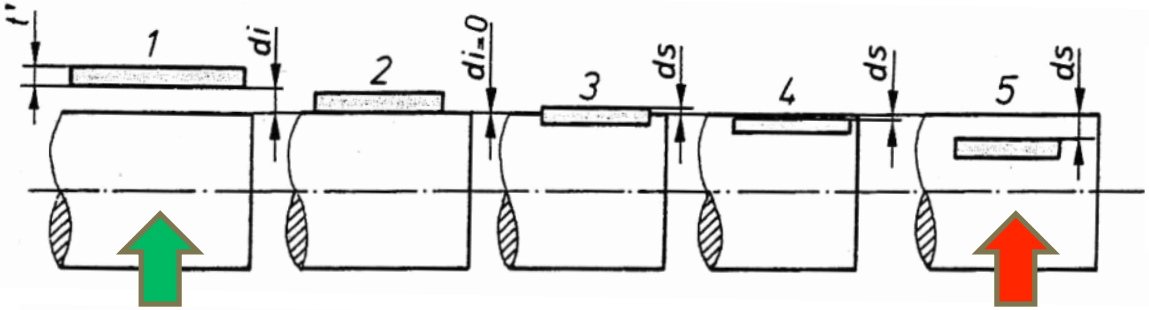


- La posición de la tolerancia, que se encuentre en la zona positiva, queda determinada por la ***diferencia inferior*** y la que se encuentre en la zona negativa, por la ***diferencia superior***

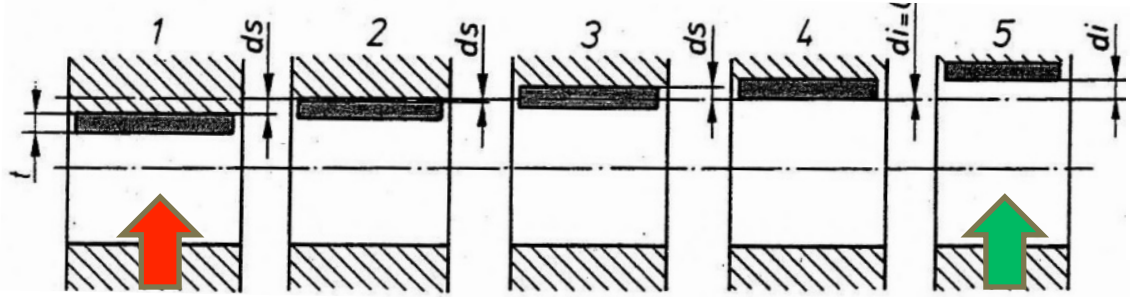


POSICIONES DE TOLERANCIA

- La posición de la tolerancia, que se encuentre en la zona positiva, queda determinada por la ***diferencia inferior*** y la que se encuentre en la zona negativa, por la ***diferencia superior***



La posición de la zona de tolerancia queda determinada en:
1.Diferencia inferior, di
2.Diferencia inferior, di=0
3.Diferencia superior, ds
4.Diferencia superior, ds
5.Diferencia superior, ds

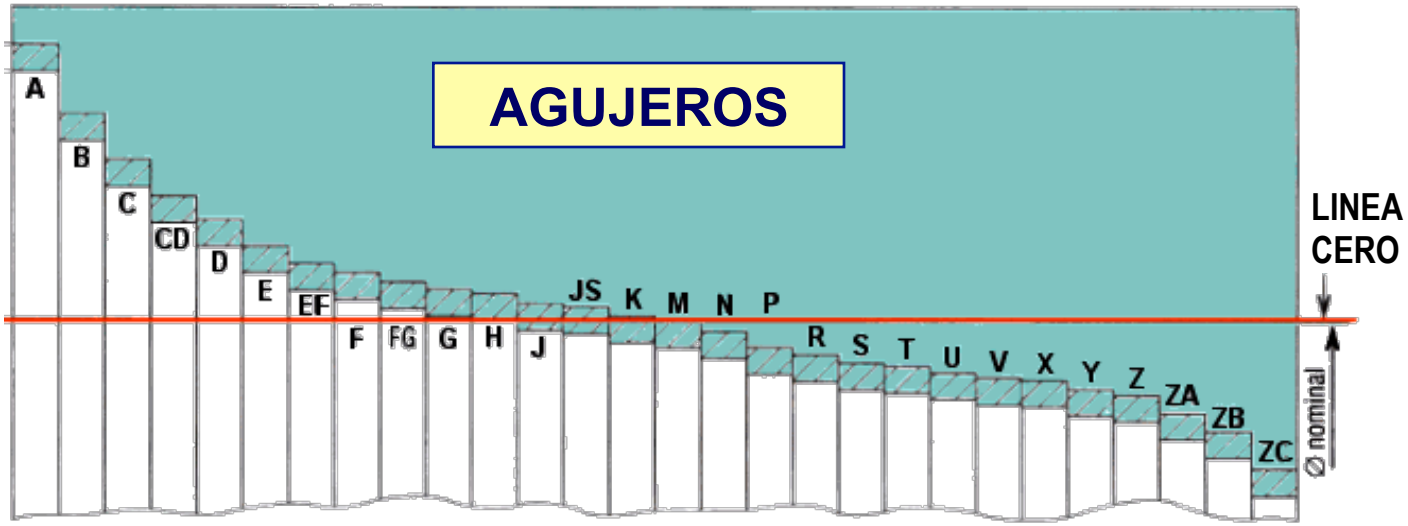


La posición de la zona de tolerancia queda determinada en:
1.Diferencia superior, ds
2.Diferencia superior, ds
3.Diferencia superior, ds
4.Diferencia inferior, di
5.Diferencia inferior, di=0

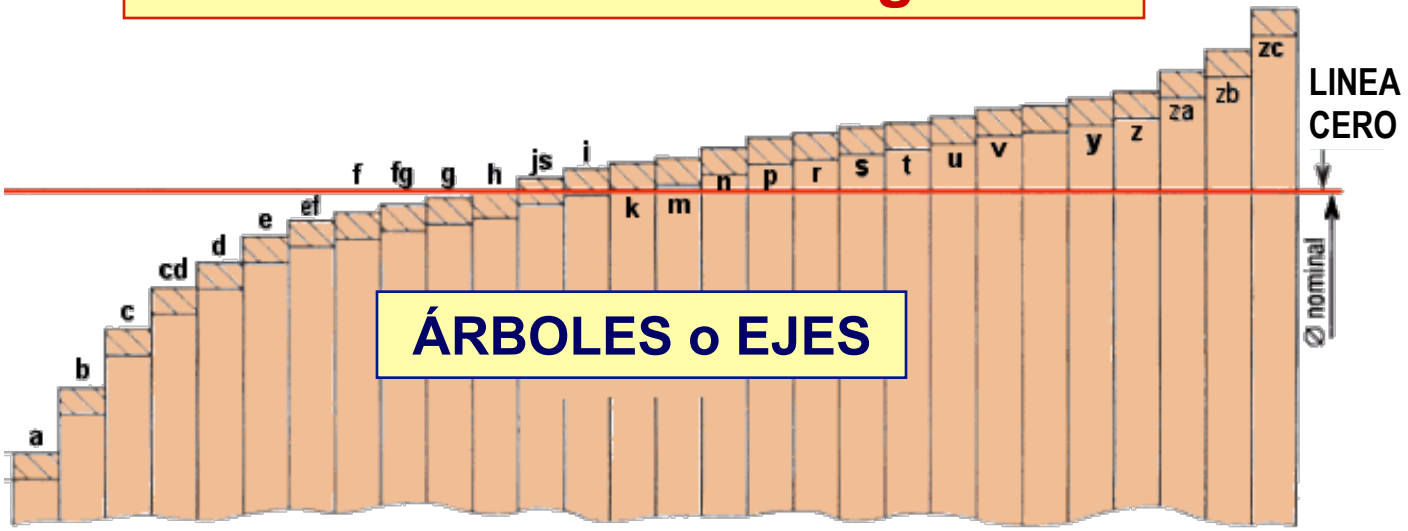
- El sistema ISO define **27 posiciones** diferentes respecto a la línea cero como zonas de tolerancia

- Para codificar las zonas de tolerancia se usan las letras del abecedario, las **mayúsculas para los agujeros** y las **minúsculas para los ejes**

POSICIONES RELATIVAS DE EJES Y AGUJEROS SEGÚN NORMAS ISO



POSICIÓN RELATIVA según ISO



POSICIONES DE TOLERANCIA

- Las 27 posiciones de tolerancia se encuentran reflejadas en tablas.
  - Las mayúsculas para los agujeros
    - Posiciones de **A-H** ➔ diferencia inferior **Di** en tabla ➔ **Ds = Di + T**
    - Posiciones **J-ZC** ➔ diferencia superior **Ds** en tabla ➔ **Di = Ds – T**
      - *A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G* ➔ "Di" es positiva y se halla por encima de la línea de cero
      - *H* ➔ "Di"=0 y la superior "Ds" igual a la tolerancia
      - *J - JS* ➔ La tolerancia está centrada respecto a la línea de cero
      - *K, M, N* ➔ Las tolerancias están encima o debajo de la línea de cero, según sus calidades
      - *P, R, S, T, U, V, X, Z, ZA, ZB, ZC* ➔ "Ds" es siempre negativa
  - Las minúsculas para los ejes
    - Posiciones de **a-h** ➔ diferencia superior **ds** en tabla ➔ **di = ds – t**
    - Posiciones de **j-zc** ➔ diferencia inferior **di** en tabla ➔ **ds = di + t**
      - a, b, c, cd, e, ef, f, fg, g ➔ "ds" negativa, y va disminuyendo por ese orden en valor absoluto
      - h ➔"ds"=0 y "di" es negativa e igual al valor absoluto a la tolerancia. Se empleará como base del sistema en el eje únic $ds = -di = \frac{T}{2}$
      - *j - js* ➔Solo la zona de tolerancia de la posición j cruza la línea de referencia; js simboliza la posición especial del eje donde la tolerancia esté centrada respecto a la línea de cero
      - k, m, n, p, r, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc ➔ "di" positiva

POSICIÓN DE LA TOLERANCIA

Posición	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j			k	
Calidad												5 y 6	7	8	>4 y ≤ 7	<4 y >7
Diferencia fundamental	Diferencia superior ds											Diferencia inferior di				
m ≤ 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0
3 < m ≤ 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4	-	+1	0
6 < m ≤ 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	-	+1	0
10 < m ≤ 14	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0	-3	-6	-	+1	0
14 < m ≤ 18																
18 < m ≤ 24	-300	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0	-4	-8	-	+2	0
24 < m ≤ 30																
30 < m ≤ 40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	9	0	-5	-10	-	+2	0
40 < m ≤ 50	-320	-180	-130													
50 < m ≤ 65	-340	-190	-140	-	-100	-60	-	-30	-	-10	0	-7	-12	-	+2	0
65 < m ≤ 80	-360	-200	-150													
80 < m ≤ 100	-380	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0	-9	-15	-	+3	0
100 < m ≤ 120	-410	-240	-180													
120 < m ≤ 140	-460	-260	-200													
140 < m ≤ 160	-520	-280	-210	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0	-11	-18	-	+3	0
160 < m ≤ 180	-580	-310	-230													
180 < m ≤ 200	-660	-340	-240													
200 < m ≤ 225	-740	-380	-260	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0	-13	-21	-	+4	0
225 < m ≤ 250	-820	-420	-280													
250 < m ≤ 280	-920	-460	-300	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0	-16	-26	-	+4	0
280 < m ≤ 315	-1050	-540	-330													
315 < m ≤ 355	-1200	-600	-360	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0	-18	-28	-	+4	0
355 < m ≤ 400	-1350	-680	-400													
400 < m ≤ 450	-1500	-760	-440	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-	+5	0
450 < m ≤ 500	-1650	-840	-480													

Posición	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
Calidad	Todas las calidades													
Diferencia fundamental	Diferencia inferior di													
m ≤ 3	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60
3 < m ≤ 6	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80
6 < m ≤ 10	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97
10 < m ≤ 14	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130
14 < m ≤ 18								+39	+45	-	+60	+77	+108	+150
18 < m ≤ 24	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24 < m ≤ 30						+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30 < m ≤ 40	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40 < m ≤ 50						+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50 < m ≤ 65	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65 < m ≤ 80				+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80 < m ≤ 100	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100 < m ≤ 120				+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120 < m ≤ 140				+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140 < m ≤ 160	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160 < m ≤ 180				+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180 < m ≤ 200				+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200 < m ≤ 225	+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225 < m ≤ 250				+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250 < m ≤ 280	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280 < m ≤ 315				+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315 < m ≤ 355	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355 < m ≤ 400				+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400 < m ≤ 450	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450 < m ≤ 500				+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H
Calidad	Todas las calidades										
Medida Nominal	Diferencia inferior Di										
m ≤ 3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0
3 < m ≤ 6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0
6 < m ≤ 10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0
10 < m ≤ 18	+290	+150	+95	-	+50	+32	-	+16	-	+6	0
18 < m ≤ 30	+300	+160	+110	-	+65	+40	-	+20	-	+7	0
30 < m ≤ 40	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0
40 < m ≤ 50	+320	+180	+130								
50 < m ≤ 65	+340	+190	+140	-	+100	+60	-	+30	-	+10	0
65 < m ≤ 80	+360	+200	+150								
80 < m ≤ 100	+380	+220	+170	-	+120	+72	-	+36	-	+12	0
100 < m ≤ 120	+410	+240	+180								
120 < m ≤ 140	+460	+260	+200								
140 < m ≤ 160	+520	+280	+210	-	+145	+85	-	+43	-	+14	0
160 < m ≤ 180	+580	+310	+230								
180 < m ≤ 200	+660	+340	+240								
200 < m ≤ 225	+740	+380	+260	-	+170	+100	-	+50	-	+15	0
225 < m ≤ 250	+820	+420	+280								
250 < m ≤ 280	+920	+480	+300	-	+190	+110	-	+56	-	+17	0
280 < m ≤ 315	+1050	+540	+330								
315 < m ≤ 335	+1200	+600	+360	-	+210	+125	-	+62	-	+18	0
335 < m ≤ 400	+1350	+680	+400								
400 < m ≤ 450	+1500	+760	+440	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0
450 < m ≤ 500	+1650	+840	+480								

Posición	J			K				M					N					P			
Calidad	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	≥9	5	6	7	8	≥9	5	6	7	≥8
Medida Nominal	Diferencia superior Ds																				
m ≤ 3	+2	+4	+6	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-6	-6	-6	-6
3 < m ≤ 6	+5	+6	+10	0	+2	+3	+5	-3	-1	0	+2	-4	-7	-5	-4	-2	0	-11	-9	-8	-12
6 < m ≤ 10	+5	+8	+12	+1	+2	+5	+6	-4	-3	0	+1	-6	-8	-7	-4	-3	0	-13	-12	-9	-15
10 < m ≤ 18	+6	+10	+15	+2	+2	+6	+8	-4	-4	0	+2	-7	-9	-9	-5	-3	0	-15	-15	-11	-18
18 < m ≤ 30	+8	+12	+20	+1	+2	+6	+10	-5	-4	0	+4	-8	-12	-11	-7	-3	0	-19	-18	-14	-22
30 < m ≤ 40	+10	+14	+24	+2	+3	+7	+12	-5	-4	0	+5	-9	-13	-12	-8	-3	0	-22	-21	-17	-26
40 < m ≤ 50																					
50 < m ≤ 65	+13	+18	+28	+3	+4	+9	+14	-6	-5	0	+5	-11	-15	-14	-9	-4	0	-27	-26	-21	-32
65 < m ≤ 80																					
80 < m ≤ 100	+16	+22	+34	+2	+4	+10	+16	-8	-6	0	+6	-13	-18	-16	-10	-4	0	-32	-30	-24	-37
100 < m ≤ 120																					
120 < m ≤ 140																					
140 < m ≤ 160	+18	+26	+41	+3	+4	+12	+20	-9	-8	0	+8	-15	-21	-20	-12	-4	0	-37	-36	-28	-43
160 < m ≤ 180																					
180 < m ≤ 200																					
200 < m ≤ 225	+22	+30	+47	+2	+5	+13	+22	-11	-8	0	+9	-17	-25	-22	-14	-5	0	-44	-41	-33	-50
225 < m ≤ 250																					
250 < m ≤ 280	+25	+36	+55	+3	+5	+16	+25	-13	-9	0	+9	-20	-27	-25	-14	-5	0	-49	-47	-36	-56
280 < m ≤ 315																					
315 < m ≤ 335	+29	+39	+60	+3	+7	+17	+28	-14	-10	0	+11	-21	-30	-26	-16	-5	0	-55	-51	-41	-62
335 < m ≤ 400																					
400 < m ≤ 450	+33	+43	+66	+2	+8	+18	+29	-16	-10	0	+11	-23	-33	-27	-17	-6	0	-61	-55	-45	-68
450 < m ≤ 500																					

Posición	R				S				T				U			
Calidad	5	6	7	≥ 8	5	6	7	≥ 8	5	6	7	≥ 8	5	6	7	≥ 8
Medida Nominal	Diferencia superior Ds															
m ≤ 3	-10	-10	-10	-10	-14	-14	-14	-14	-	-	-	-	-18	-18	-18	-18
3 < m ≤ 6	-14	-12	-11	-15	-18	-16	-15	-19	-	-	-	-	-22	-20	-19	-23
6 < m ≤ 10	-17	-16	-13	-19	-21	-20	-17	-23	-	-	-	-	-26	-25	-22	-28
10 < m ≤ 14	-20	-20	-16	-23	-25	-25	-21	-28	-	-	-	-	-30	-30	-26	-33
14 < m ≤ 18																
18 < m ≤ 24	-25	-24	-20	-28	-32	-31	-27	-35	-	-	-	-	-38	-37	-33	-41
24 < m ≤ 30									-38	-37	-33	-41	-45	-44	-40	-48
30 < m ≤ 40	-30	-29	-25	-34	-39	-38	-34	-43	-44	-43	-39	-48	-56	-55	-51	-60
40 < m ≤ 50									-50	-49	-45	-54	-66	-65	-61	-70
50 < m ≤ 65	-36	-35	-30	-41	-48	-47	-42	-53	-61	-60	-55	-66	-82	-81	-76	-87
65 < m ≤ 80	-38	-37	-32	-43	-54	-53	-48	-59	-70	-69	-64	-75	-97	-96	-91	-102
80 < m ≤ 100	-46	-44	-38	-51	-66	-64	-58	-71	-86	-84	-78	-91	-119	-117	-111	-124
100 < m ≤ 120	-49	-47	-41	-54	-74	-72	-66	-79	-99	-97	-91	-104	-139	-137	-131	-144
120 < m ≤ 140	-57	-56	-48	-63	-86	-85	-77	-92	-116	-115	-107	-122	-164	-163	-155	-170
140 < m ≤ 160	-59	-58	-50	-65	-94	-93	-85	-100	-128	-127	-119	-134	-184	-183	-175	-190
160 < m ≤ 180	-62	-61	-53	-68	-102	-101	-93	-108	-140	-139	-131	-146	-204	-203	-195	-210
180 < m ≤ 200	-71	-68	-60	-77	-116	-113	-105	-122	-160	-157	-149	-166	-230	-227	-219	-236
200 < m ≤ 225	-74	-71	-63	-80	-124	-121	-113	-130	-174	-171	-163	-180	-252	-249	-241	-258
225 < m ≤ 250	-78	-75	-67	-84	-134	-131	-123	-140	-190	-187	-179	-196	-278	-275	-267	-284
250 < m ≤ 280	-87	-85	-74	-94	-151	-149	-138	-158	-211	-209	-198	-218	-308	-306	-295	-315
280 < m ≤ 315	-91	-89	-78	-98	-163	-161	-150	-170	-233	-231	-220	-240	-343	-341	-330	-350
315 < m ≤ 355	-101	-97	-87	-108	-183	-179	-169	-190	-261	-257	-247	-268	-383	-379	-369	-390
355 < m ≤ 400	-107	-103	-93	-114	-201	-197	-187	-208	-287	-283	-273	-294	-428	-424	-414	-435
400 < m ≤ 450	-119	-113	-103	-126	-225	-219	-208	-232	-323	-317	-307	-330	-483	-477	-467	-490
450 < m ≤ 500	-125	-119	-109	-132	-245	-239	-229	-252	-353	-347	-337	-360	-533	-527	-517	-540

Posición	V				X				Y			Z			ZA		ZB	ZC
Calidad	5	6	7	≥ 8	5	6	7	≥ 8	6	7	≥ 8	6	7	≥ 8	7	≥ 8	≥ 8	≥ 8
Medida Nominal	Diferencia superior Ds																	
m ≤ 3	-	-	-	-	-20	-20	-20	-20	-	-	-	-26	-26	-26	-32	-32	-40	-60
3 < m ≤ 6	-	-	-	-	-27	-25	-24	-28	-	-	-	-32	-31	-35	-38	-42	-50	-80
6 < m ≤ 10	-	-	-	-	-32	-31	-28	-34	-	-	-	-39	-36	-42	-46	-52	-67	-97
10 < m ≤ 14	-	-	-	-	-37	-37	-33	-40	-	-	-	-47	-43	-50	-57	-64	-90	-130
14 < m ≤ 18	-36	-36	-32	-39	-42	-42	-38	-45	-	-	-	-57	-53	-60	-70	-77	-108	-150
18 < m ≤ 24	-44	-43	-39	-47	-51	-50	-46	-54	-59	-55	-63	-69	-65	-73	-90	-98	-136	-188
24 < m ≤ 30	-52	-51	-47	-55	-61	-60	-56	-64	-71	-67	-75	-84	-80	-88	-110	-118	-160	-218
30 < m ≤ 40	-64	-63	-59	-68	-76	-75	-71	-80	-89	-85	-94	-107	-103	-112	-139	-148	-200	-274
40 < m ≤ 50	-77	-76	-72	-81	-93	-92	-88	-97	-109	-105	-114	-131	-127	-136	-171	-180	-242	-325
50 < m ≤ 65	-97	-96	-91	-102	-117	-116	-111	-122	-138	-133	-144	-166	-161	-172	-215	-226	-300	-405
65 < m ≤ 80	-115	-114	-109	-120	-141	-140	-135	-146	-168	-163	-174	-204	-199	-210	-263	-274	-360	-480
80 < m ≤ 100	-141	-139	-133	-146	-173	-171	-165	-178	-207	-201	-214	-251	-245	-258	-322	-335	-445	-585
100 < m ≤ 120	-167	-165	-159	-172	-205	-203	-197	-210	-247	-241	-254	-303	-297	-310	-387	-400	-525	-690
120 < m ≤ 140	-196	-195	-187	-202	-242	-241	-233	-248	-293	-285	-300	-358	-350	-365	-455	-470	-620	-800
140 < m ≤ 160	-222	-221	-213	-228	-274	-273	-265	-280	-333	-325	-340	-408	-400	-415	-520	-535	-700	-900
160 < m ≤ 180	-246	-245	-237	-252	-304	-303	-295	-310	-373	-365	-380	-458	-450	-465	-585	-600	-780	-1000
180 < m ≤ 200	-278	-275	-267	-284	-344	-341	-333	-350	-416	-408	-425	-511	-503	-520	-653	-670	-880	-1150
200 < m ≤ 225	-304	-301	-293	-310	-379	-376	-368	-385	-461	-453	-470	-566	-558	-575	-723	-740	-960	-1250
225 < m ≤ 250	-334	-331	-323	-340	-419	-416	-408	-425	-511	-503	-520	-631	-623	-640	-803	-820	-1050	-1350
250 < m ≤ 280	-378	-376	-365	-385	-468	-466	-455	-475	-571	-560	-580	-701	-690	-710	-900	-920	-1200	-1550
280 < m ≤ 315	-418	-416	-405	-425	-518	-516	-505	-525	-641	-630	-650	-781	-770	-790	-980	-1000	-1300	-1700
315 < m ≤ 355	-468	-464	-454	-475	-583	-579	-569	-590	-719	-709	-730	-889	-879	-900	-1129	-1150	-1500	-1900
355 < m ≤ 400	-523	-519	-509	-530	-653	-649	-639	-660	-809	-799	-820	-989	-979	-1000	-1279	-1300	-1650	-2100
400 < m ≤ 450	-588	-582	-572	-595	-733	-727	-717	-740	-907	-897	-920	-1087	-1077	-1100	-1427	-1450	-1850	-2400
450 < m ≤ 500	-653	-647	-637	-660	-813	-807	-797	-820	-987	-977	-1000	-1237	-1227	-1250	-1577	-1600	-2100	-2600

ZONAS DE TOLERANCIA PREFERENTES

- Aunque, para cada grupo de diámetros nominales, se pueden elegir un número elevado de zonas de tolerancia y de grados de calidad, la experiencia recomienda utilizar solamente algunas zonas de tolerancia, llamadas **zonas de tolerancia preferentes**

Zonas de tolerancia preferentes para Agujeros

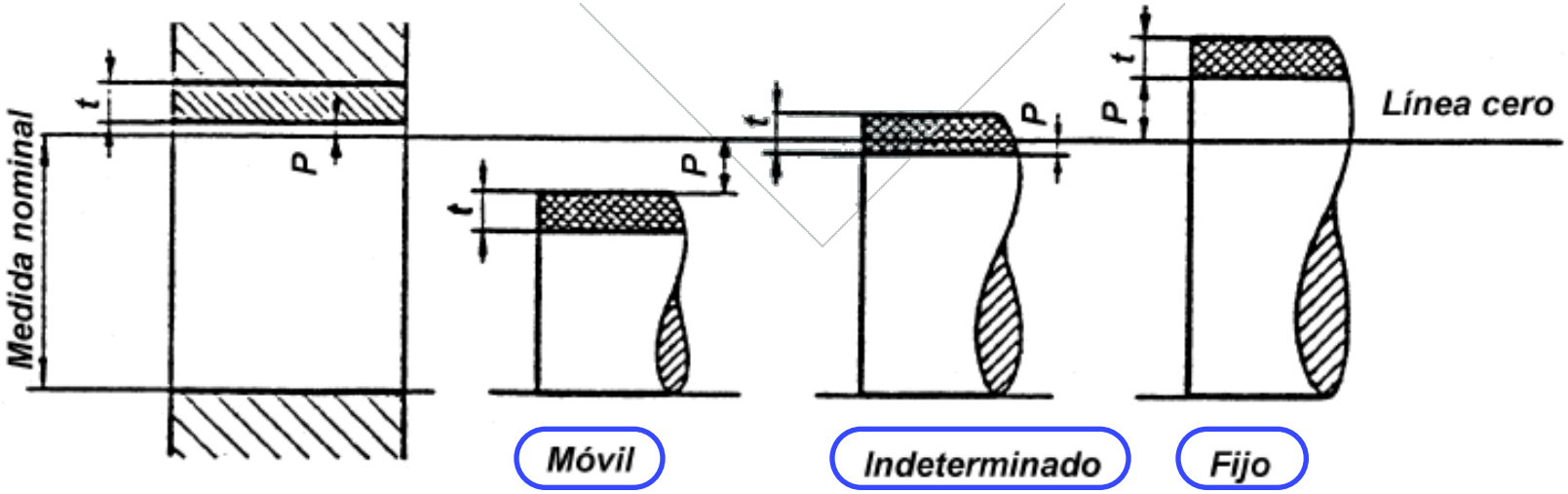
						G6	H6	Js6	K6	M6	N6	P6	R6	S6	T6	
					F7	**G7**	**H7**	**Js7**	**K7**	M7	**N7**	**P7**	**R7**	**S7**	T7	
				E8	**F8**		**H8**	Js8	K8	M8	N8	P8	R8			
			D9	E9	**F9**		**H9**									
			D10	E10			H10									
A11	**B11**	**C11**	D11				**H11**									

Zonas de tolerancia preferentes para Ejes

						g5	h5	js5	k5	m5	n5	p5	r5	s5	t5	
					f6	**g6**	**h6**	**js6**	**k6**	m6	**n6**	**p6**	**r6**	**s6**	t6	
					f7		**h7**	js7	k7	m7	n7	p7	r7	t7	t7	u7
			d8	e8	f8		h8									
			d9	e9			**h9**									
			d10													
a11	**b11**	**c11**					**h11**									

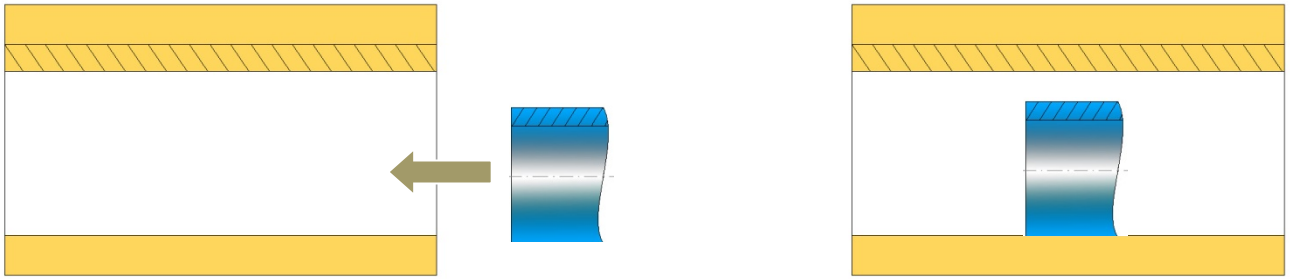
AJUSTES

- **AJUSTE** ➔ Diferencia entre las medidas de dos piezas que han de acoplar, **antes del montaje**
- Según las tolerancias de las dos piezas a acoplar, puede haber:
  - **AJUSTE CON JUEGO O MÓVIL ➔ J**
  - **AJUSTE CON APRIETO O FIJO ➔ A**
  - **AJUSTE INDETERMINADO ➔ I**

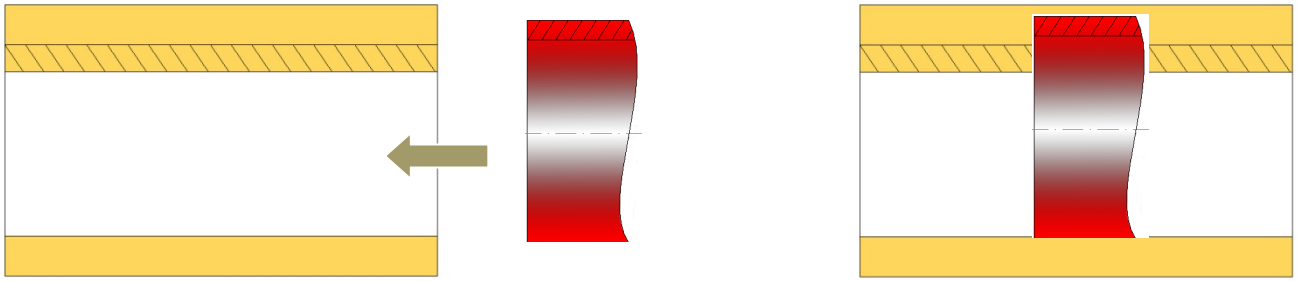


TIPOS DE AJUSTES

- **AJUSTE CON JUEGO, J** ➔ Cuando, antes de ensamblar dos piezas, la diferencia entre la medida del agujero y del eje es positiva, es decir, cuando el diámetro real del eje es inferior al diámetro real del agujero

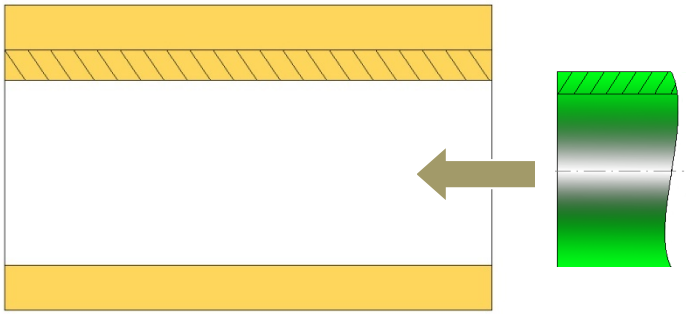


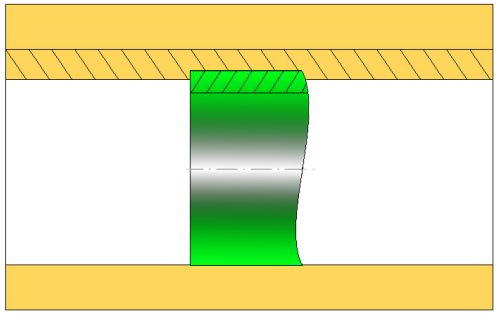
- **AJUSTE CON APRIETO, A** ➔ Cuando la diferencia, antes del montaje, entre la medidas efectiva de eje y agujero es positiva, es decir, cuando el diámetro real del eje es mayor que el diámetro real del agujero

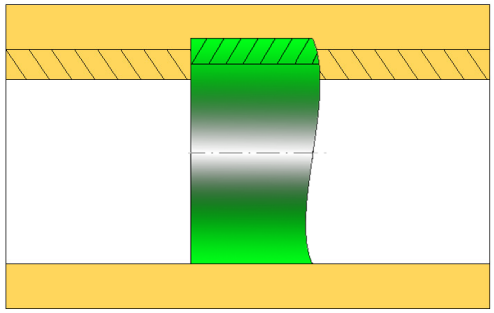


TIPOS DE AJUSTES

- **AJUSTE INDETERMINADO, I** ➔ Cuando la diferencia entre la medidas efectivas de agujero y eje pueden resultar positivas o negativas, dependiendo de cada montaje concreto







AJUSTE CON JUEGO

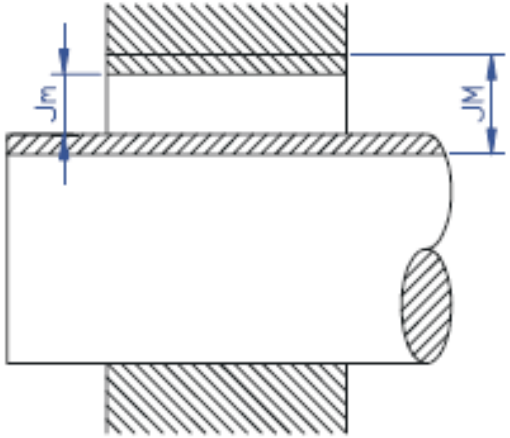
- **Juego máximo (JM):** diferencia que resulta entre la medida máxima del agujero y la mínima del eje

$$JM = DM - dm$$

- **Juego mínimo (Jm):** diferencia entre la medida mínima del agujero y la máxima del eje

$$Jm = Dm - dM$$

- **Tolerancia del juego (TJ)**: diferencia entre los juegos máximo y mínimo, que coincide con la suma de las tolerancias del agujero y del eje



$$TJ = JM - Jm = T + t$$

AJUSTE CON APRIETO

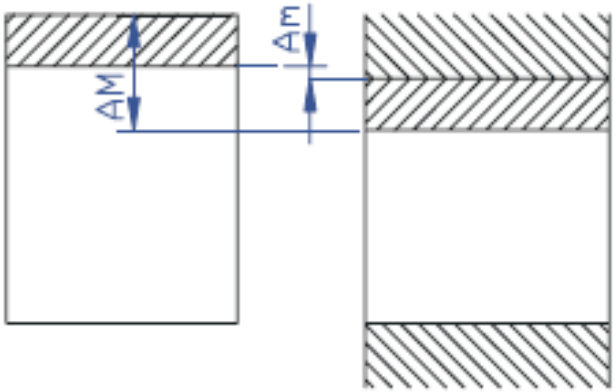
- **Aprieto máximo (AM):** valor de la diferencia entre la medida máxima del eje y la mínima del agujero

$$AM = dM - Dm$$

- **Aprieto mínimo (Am):** valor de la diferencia entre la medida mínima del eje y la máxima del agujero

$$Am = dm - DM$$

- **Tolerancia del Aprieto (TA):** diferencia entre los aprietos máximo y mínimo, que coincide con la suma de las tolerancias del agujero y del eje



$$TA = AM - Am = T + t$$

AJUSTE INDETERMINADO

- **Juego máximo (JM):** diferencia entre la medida máxima del agujero y la mínima del eje

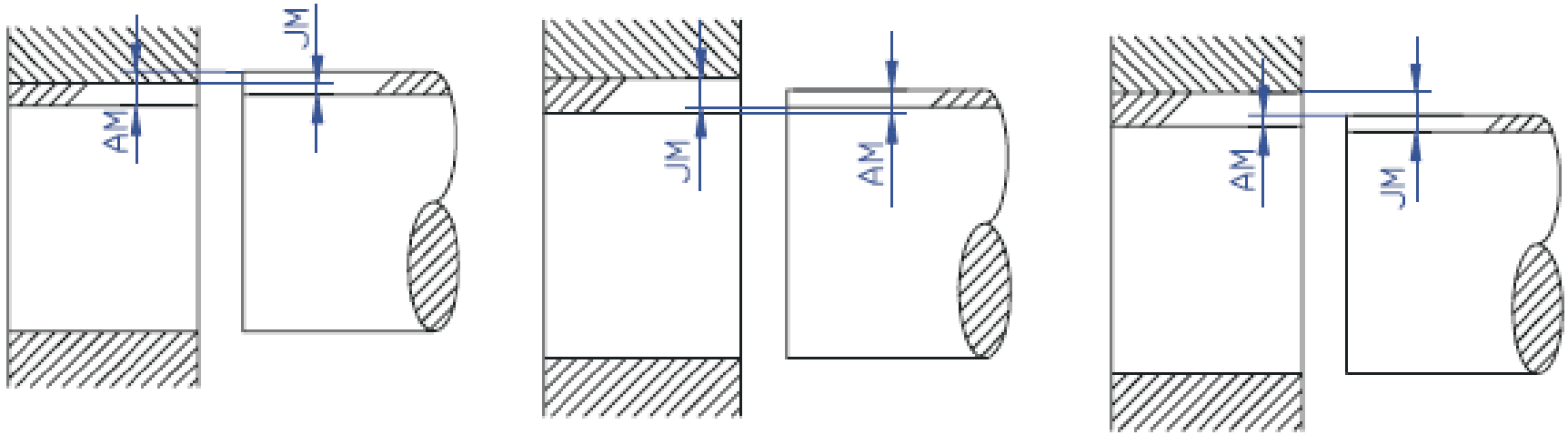
$$JM = DM - dm$$

- **Aprieto máximo (AM):** diferencia entre la medida máxima del eje y la mínima del agujero

$$AM = dM - Dm$$

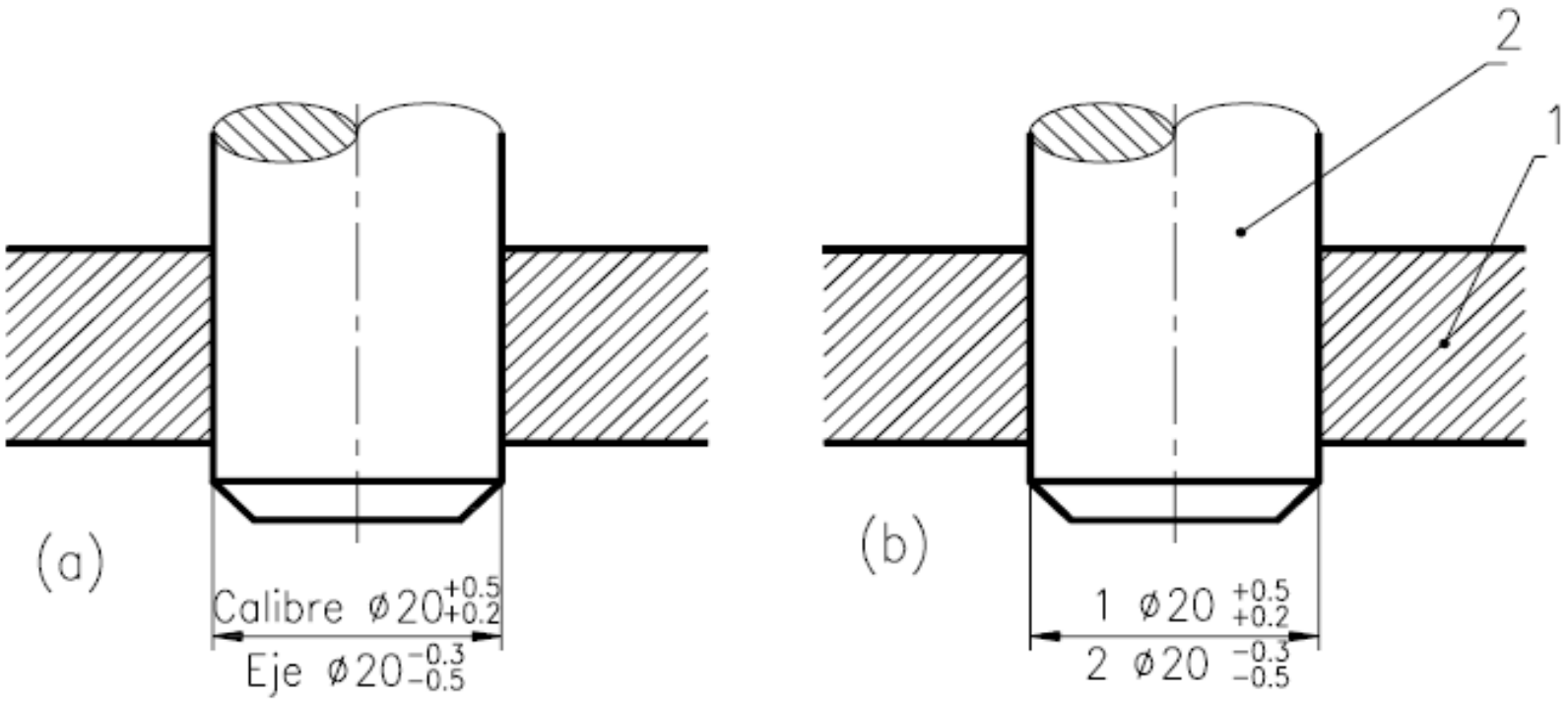
- **Tolerancia del ajuste indeterminado (TI):** suma del juego máximo y del aprieto máximo que coincide con la suma de las tolerancias del agujero y del eje

$$TI = JM - AM = T + t$$



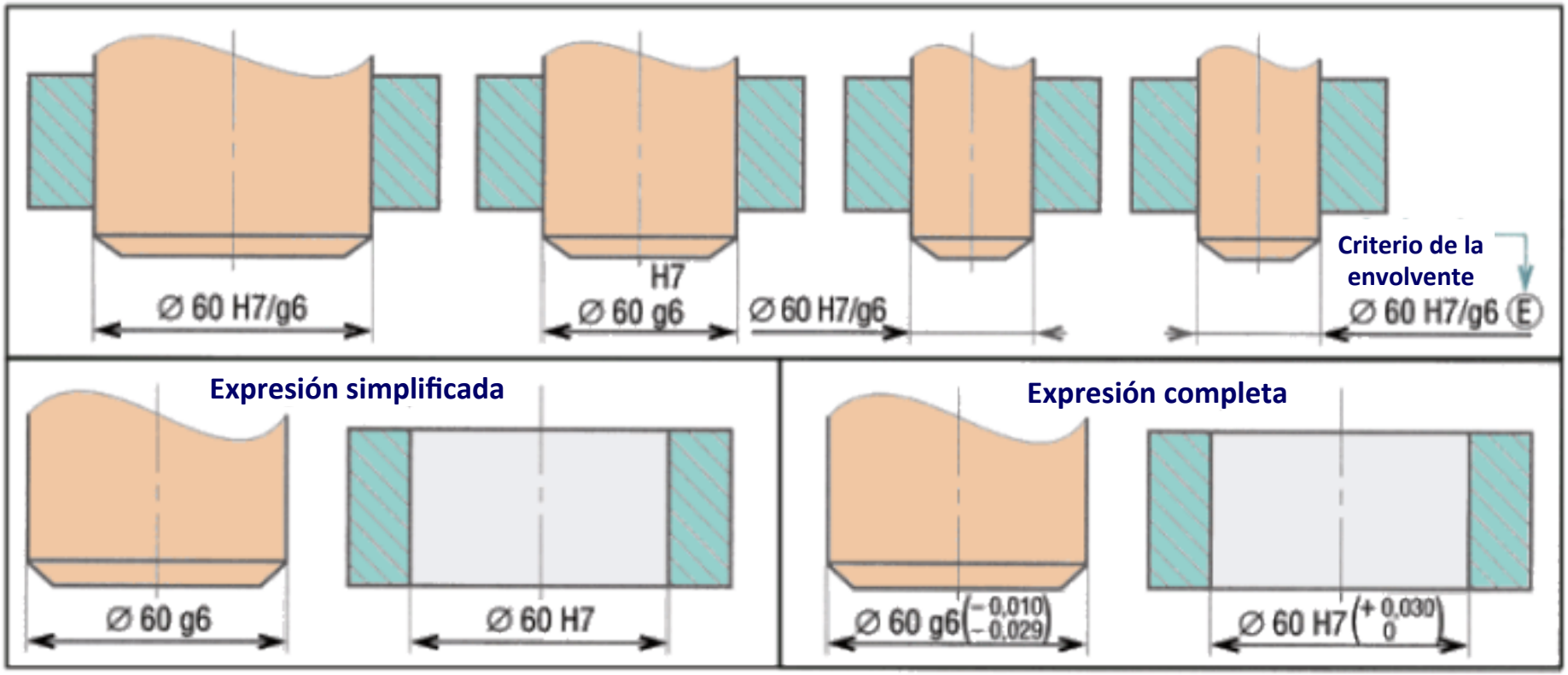
REPRESENTACIÓN DE LOS AJUSTES

- Los ajustes se designan simbólicamente indicando las tolerancias del agujero y del eje por medio de cifras o por medio de los símbolos ISO
  - Cuando se indican las cifras de las tolerancias, la representación del ajuste puede realizarse designando el elemento **(a)** o identificándolo con su número de marca **(b)**



REPRESENTACIÓN DE LOS AJUSTES ISO

- Con símbolos ISO, pueden representarse conjunta o individualmente
- Cuando se indican conjuntamente, el símbolo de la tolerancia del agujero debe situarse antes que el del eje o sobre éste

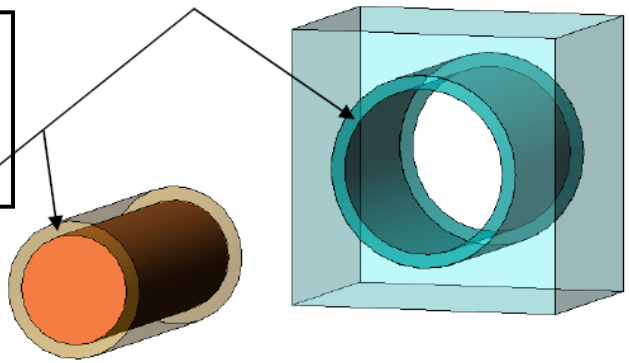


INDICACIÓN ISO DE LOS AJUSTES

COTA NOMINAL

ϕ50 H8 g7

ZONA DE VARIACIÓN DE MATERIAL



ALOJAMIENTO

H → Zona de Tolerancia

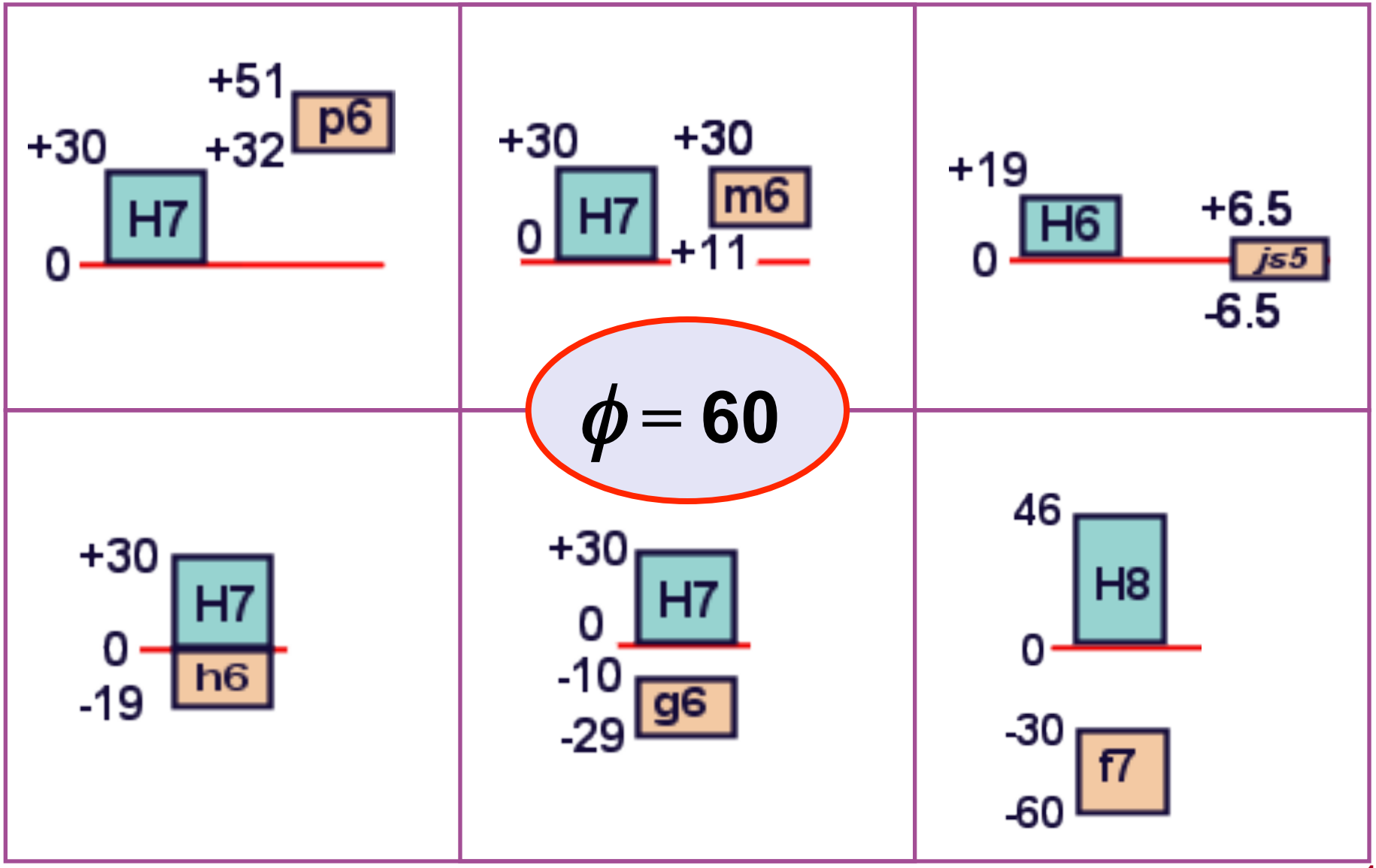
8 → Índice de Calidad

ÁRBOL o EJE

g → Zona de Tolerancia

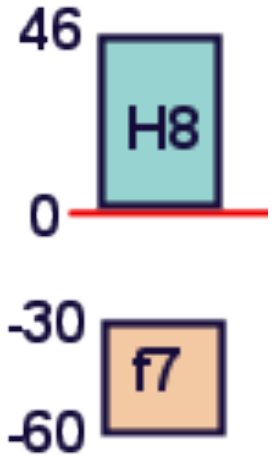
7 → Índice de Calidad

EJEMPLOS DE AJUSTES



EJEMPLO DE AJUSTE

58 H8 f7



Agujero: **58 H8**

+46 Agujero máximo = 58 + 0,046 = 58,046

+0 Agujero mínimo = 58 + 0 = 58

Eje: **58 f7**

-30 Eje máximo = 58 – 0,030 = 57,970

-60 Eje mínimo = 58 – 0,060 = 57,940

Juego Máximo = 58,046 – 57,940 = 0,106

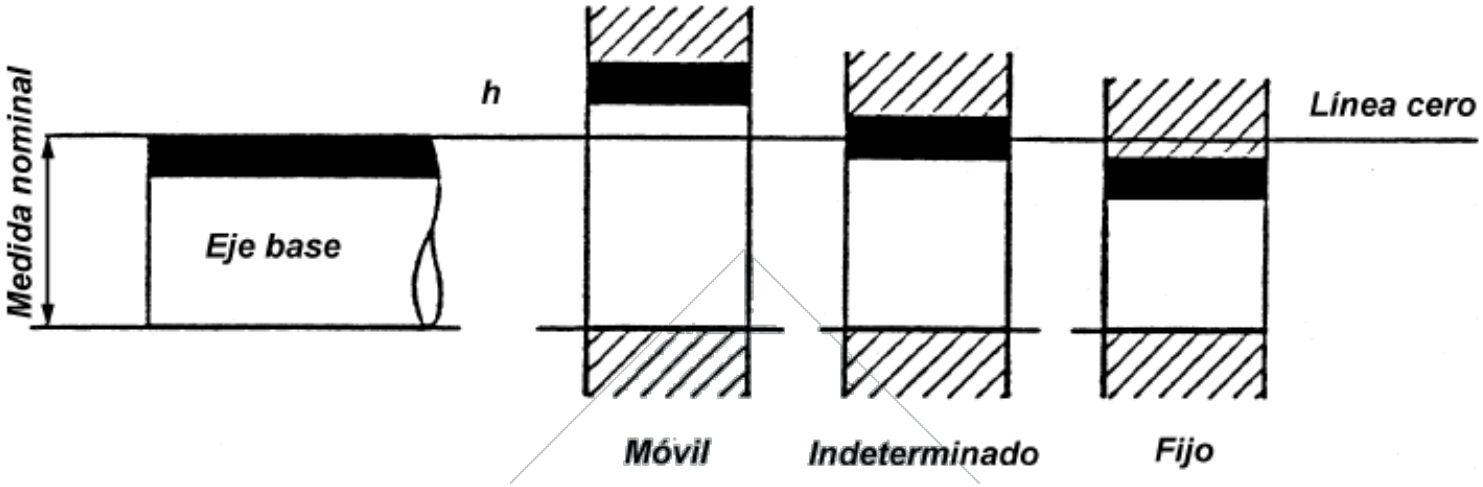
Juego Mínimo = 58 – 57,970 = 0,030

SISTEMAS DE AJUSTE

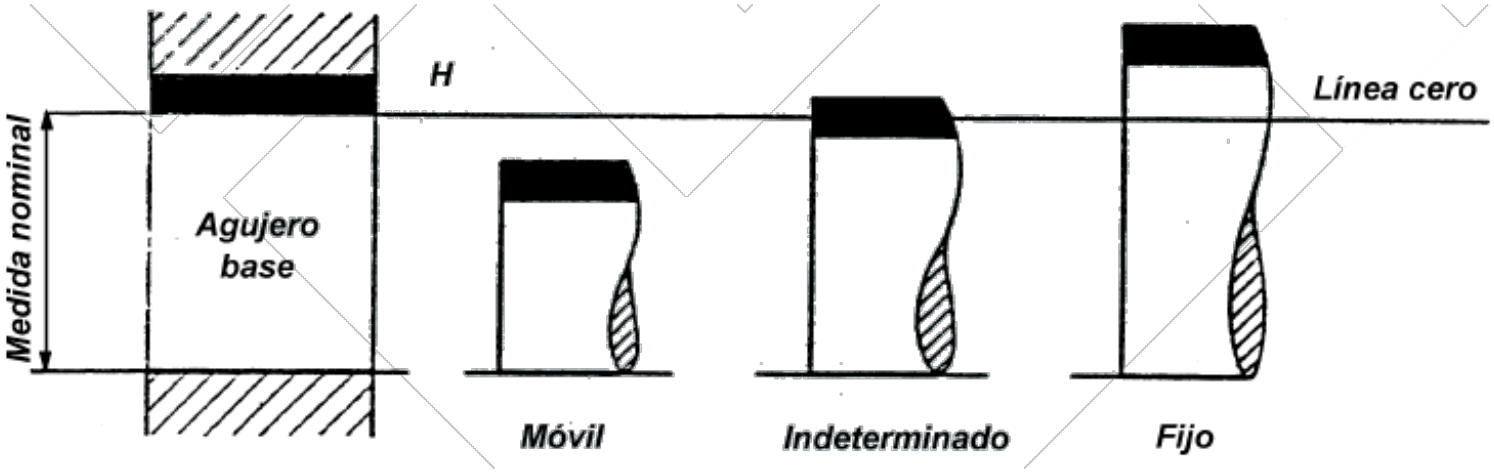
- Un ***sistema de ajuste*** es un conjunto sistemático de ajustes entre ejes y agujeros, resultado de la combinación de determinadas zonas de tolerancias, y que puede dar lugar a diversos juegos y aprietos
  - ***Sistema de ajuste de agujero único o agujero base***
    - Conjunto de ajustes en el que los diferentes juegos o aprietes se obtienen asociando ejes, con diferentes tolerancias, a un agujero de tolerancia constante
    - Se define un agujero cuya diferencia inferior es nula, es decir, la zona de tolerancia está en posición ***H***
  - ***Sistema de ajuste de eje único o eje base***
    - Conjunto de ajustes en el que los diferentes juegos o aprietes se obtienen asociando agujeros, con diferentes tolerancias, a un eje de tolerancia constante
    - Se elige un eje cuya diferencia superior es nula, es decir, la zona de tolerancia está en posición ***h***
  - ***Sistema de ajuste mixto***
    - Es un sistema de ajuste donde las posiciones del agujero y del eje no son ni ***H*** ni ***h***
    - Únicamente se debe utilizar este sistema cuando, por algún motivo, no se pueden utilizar ni los sistemas de agujero base ni de eje base

SISTEMAS DE AJUSTE

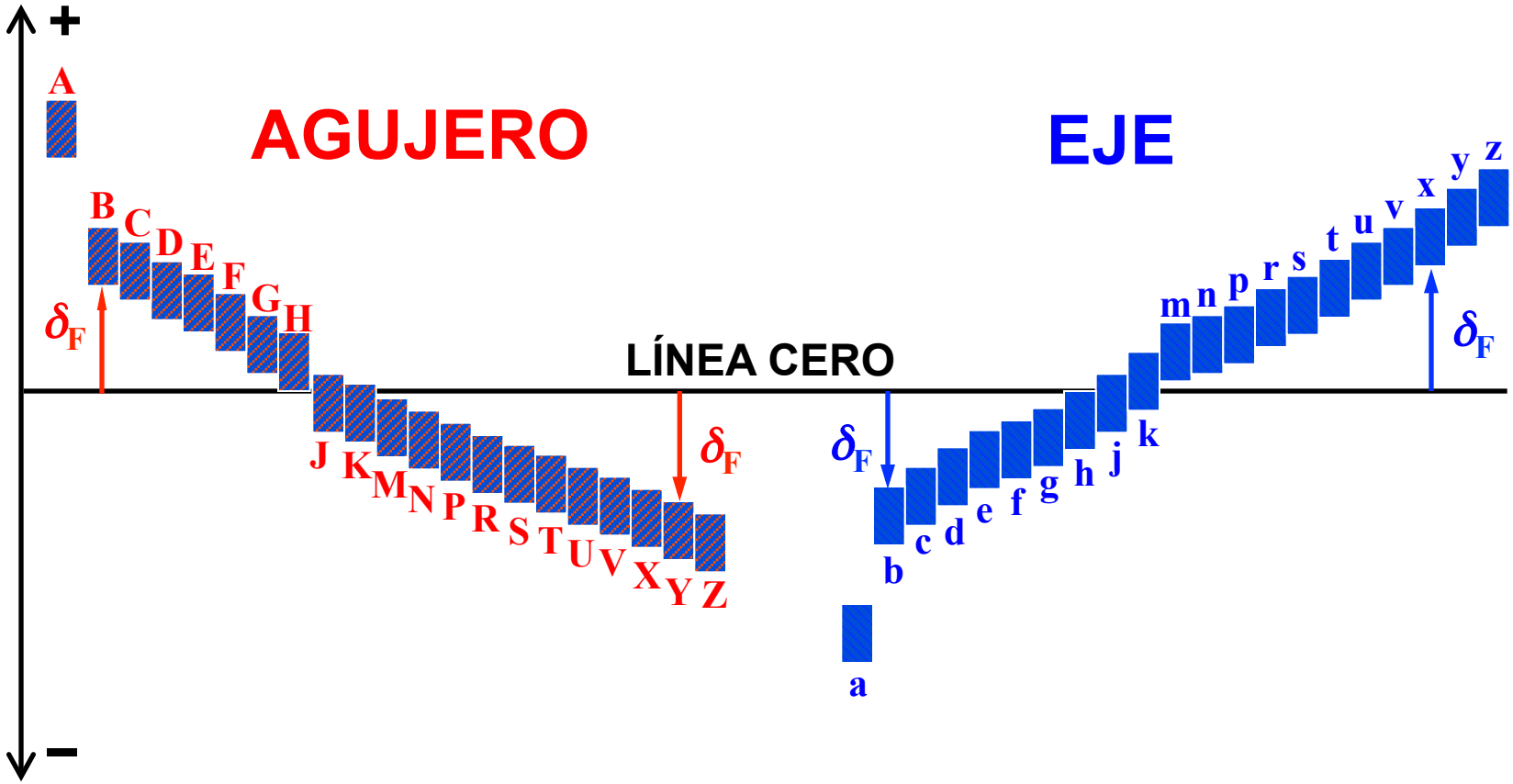
EJE BASE O ÚNICO



AGUJERO BASE O ÚNICO



POSICIONES RELATIVAS DE LAS ZONAS DE TOLERANCIA



Sistema de agujero base (Basic Hole System)

BHS: H…/(a-g)… (negativo)

H…/(j-k)… (depende del tamaño)

H…/(m-z)… (positivo)

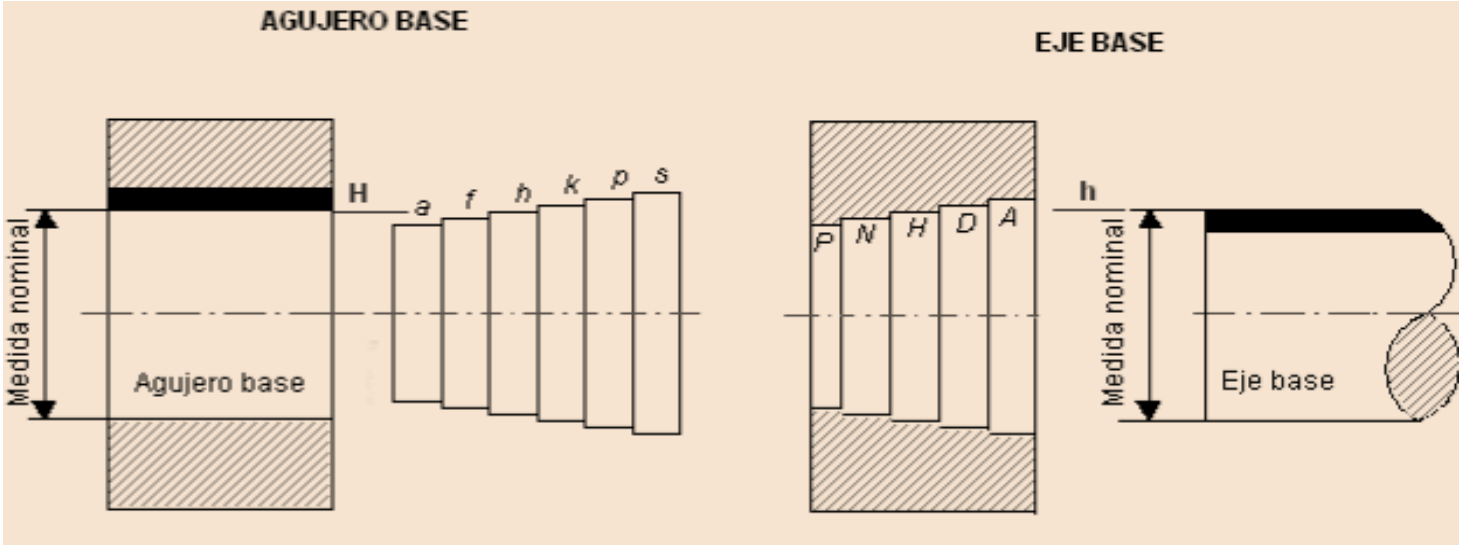
Sistema de eje base (Basic Shaft System)

BSS: (A-G)…/h… (positivo)

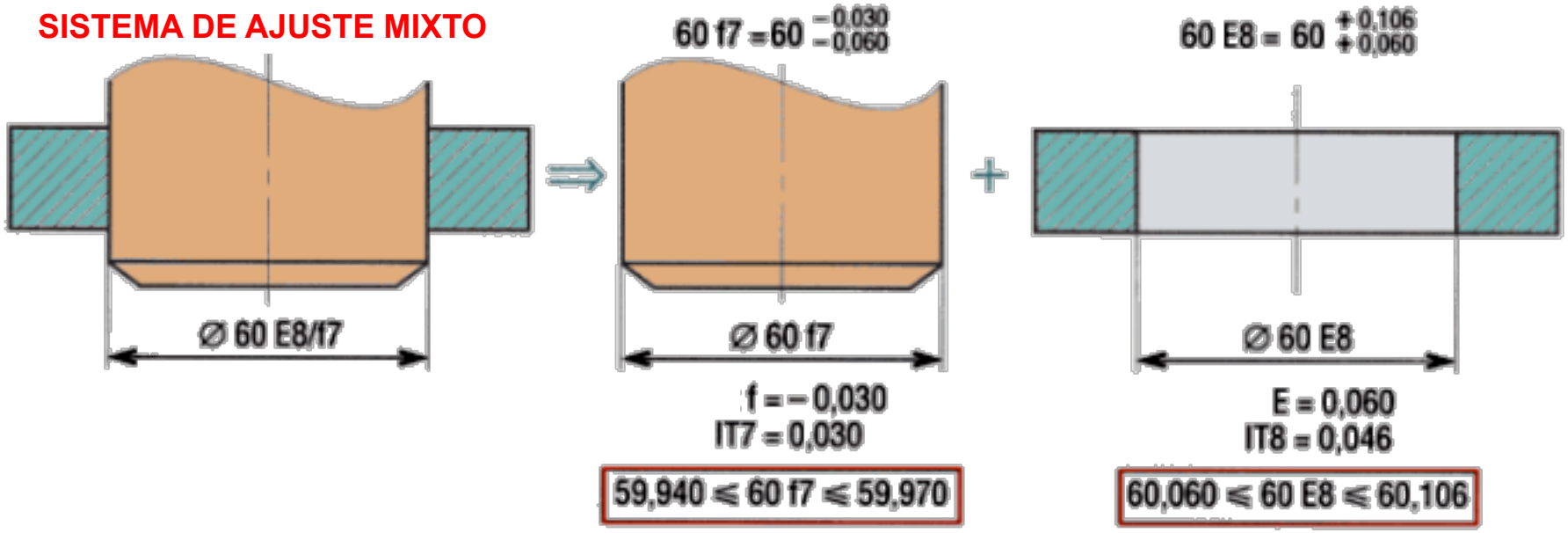
(J-K)…/h… (depende del tamaño)

(M-Z)…/h… (negativo)

EJEMPLOS DE AJUSTE

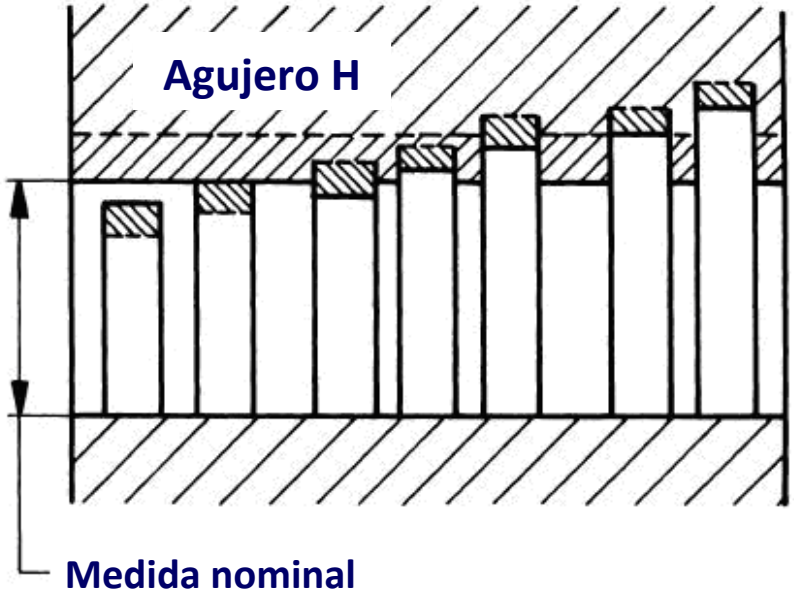


SISTEMA DE AJUSTE MIXTO



AJUSTE CON AGUJERO BASE

- Se elige un agujero cuya diferencia inferior es nula, luego todas las diferencias son positivas
- Zona de tolerancia del agujero: **Zona H**



ϕ Agujero → Fijo

ϕ Eje → Variable

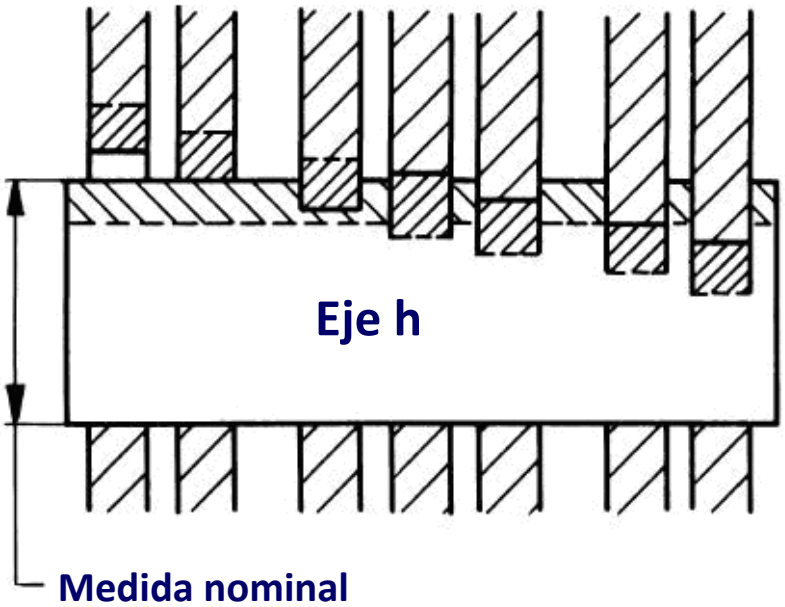
- Es el eje el que determina el tipo de ajuste:
  - **Ejes de a-h:** Ajuste deslizante (con juego)
  - **Ejes de k-z:** Ajuste forzado (con apriete)
  - **Ejes j:** Ajuste indeterminado

AJUSTE CON EJE BASE

- Se elige un eje cuya diferencia superior es nula, luego todas las diferencias son negativas
- Zona de tolerancia del eje: **Zona h**

ϕ Eje → Fijo

ϕ Agujero → Variable



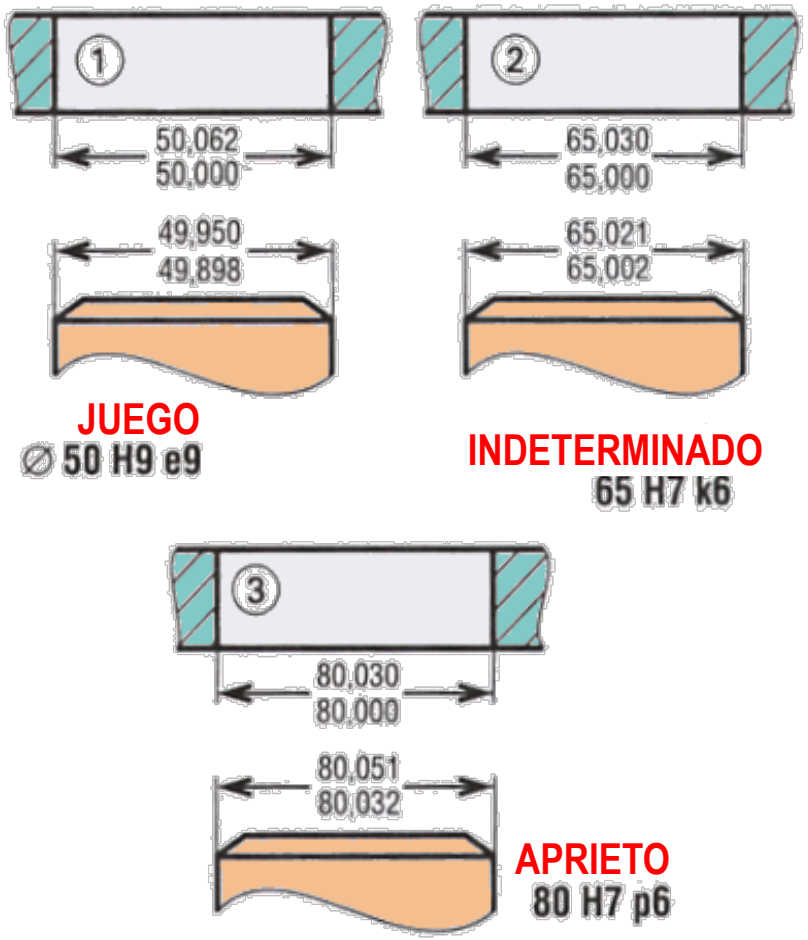
- Es el agujero el que determina el tipo de ajuste:
  - **Ejes de A-H:** Ajuste holgado (con juego)
  - **Ejes de N-Z:** Ajuste forzado (con apriete)
  - **Ejes J-M:** Ajuste indeterminado

ELECCIÓN DE LOS JUEGOS LÍMITES

- Se debe evitar todo exceso de precisión y toda precisión inútil
- Siempre que se pueda se debe adoptar mayor tolerancia para el agujero que para el eje
- Se deben seleccionar las tolerancias de forma que las calidades del eje y agujero no varíen en más de dos índices. Se elegirá la combinación que dé más tolerancia al ajuste
- La experiencia en ajustes análogos que hayan resultado satisfactorios será un aspecto que siempre debe tenerse en cuenta

AJUSTES ISO PREFERENTES

Agujero Único		Eje Único		Características del asiento	Ejemplos
H 8 H 8	x 8 u 8			Prensado duro. Montaje a prensa. No necesita seguro.	Coronas de bronce, ruedas.
H 7	s 6			Prensado. Montaje a prensa.	Piñón motor.
H 7	r 6			Prensado ligero. Necesita seguro.	Engranajes de máquinas.
H7	n 6			Muy forzado. Montaje a martillo.	Casquillos especiales.
H7	k 6			Forzado. Montaje a martillo.	Rodamientos a bolas.
H 7	j 6			Forzado ligero. Montaje a mazo.	Rodamientos a bolas.
H 7	h 6			Deslizante con lubricación.	Ejes de lira.
H 8	h 9			Deslizante sin lubricación.	Ejes de contrapunto.
H 11	h 9			Deslizante. Ajuste corriente.	Ejes de colocaciones.
H 11	h 11			Deslizante. Ajuste ordinario.	Ejes-guías atados.
H 7	g 6	G 7	h 6	Giratorio sin juego apreciable.	Émbolos de freno.
H 7	f 7	F 8	h 6	Giratorio con poco juego.	Bielas, cojinetes.
H 8	f 7	F 8	h 9	Giratorio con poco juego.	Bielas, cojinetes.
H 8	e 8	E 9	h 9	Giratorio con gran juego.	Cojinetes corrientes.
H 8	d 9	D 10	h 9	Giratorio con mucho juego.	Soportes múltiples.
H 11	c 11	C 11	h 9	Libre (con holgura).	Cojinetes de máquinas agrícolas.
H 11	a 11	A 11	h 11	Muy libre.	Avellanados, taladros de tornillos.



ELECCIÓN DE LOS AJUSTES. APLICACIONES

- Al fijar los juegos límites de un acoplamiento debe considerarse:
  - **Estado superficial**. Una tolerancia muy pequeña pierde todo su valor si las irregularidades son mayores que la tolerancia. Los signos de mecanizado y las indicaciones de tolerancias y ajustes tienen que ser compatibles
  - **Naturaleza del material** del que están hechas las piezas
  - **Velocidad de funcionamiento**
  - **Lubricación**
  - **Temperatura de funcionamiento** que provoca dilataciones, modificando el acoplamiento
  - Naturalidad, intensidad, dirección, sentido, variación y prioridad de los **esfuerzos**
  - **Desgaste**
  - **Geometría del conjunto**. Las tolerancias de forma y posición deben ser compatibles con las indicaciones de tolerancia del juego

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR UN AJUSTE

- Determinar los ajustes límites (*JM-Jm-AM-Am*) que se quieren utilizar, por cálculo o por experiencia
- Calcular las dimensiones normalizadas del agujero y del eje
- Determinar el valor de la tolerancia del ajuste
  - Por ejemplo, para un juego: **TJ = JM - Jm**
  - Como **TJ =T + t**, se eligen las tolerancias del eje y del agujero, de forma que se cumpla que: **TJ ≥ T+ t**
- Seleccionar el sistema de ajuste normalizado (agujero base, eje base o mixto)
- Establecer las condiciones para determinar el ajuste normalizado

VERIFICACIÓN DE LAS TOLERANCIAS

- Las tolerancias son necesarias al construir una pieza para asegurar una calidad mínima de fabricación
- Una vez realizada la pieza, se debes comprobar que sus dimensiones cumplen las tolerancias especificadas
- El departamento de calidad debe establecer el procedimiento de control de calidad, seleccionando los instrumentos de medida que permitan verificar las dimensiones
- Existen dos formas de **verificar las tolerancias** dimensionales:
  - **Medición indirecta.** Se utilizan varios métodos e instrumentos, el más común es el de las galgas ó calibres fijos
  - **Medición directa.** Se usan generalmente micrómetros cuyas puntas están adaptadas para introducirse también en el flanco de las roscas

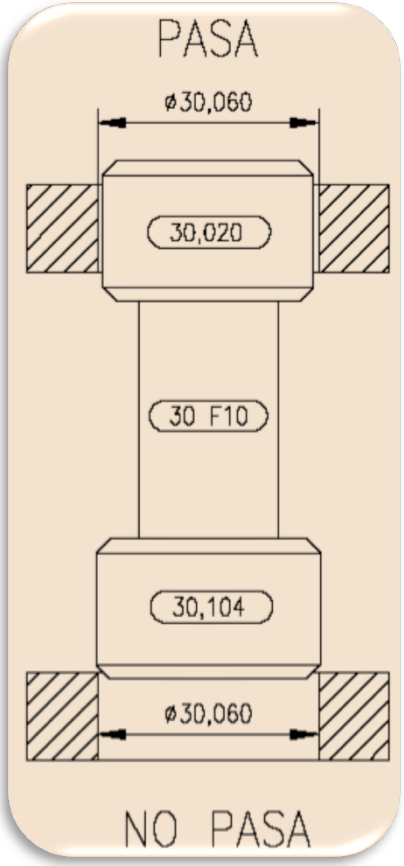
VERIFICACIÓN DE TOLERANCIAS. MEDICIÓN INDIRECTA

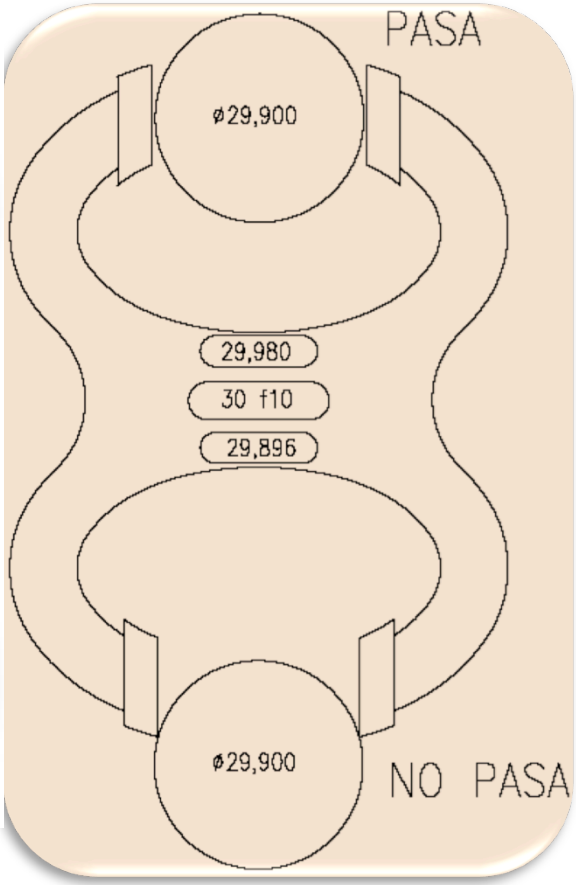
- Las **galgas o calibres fijos**, sirven para la verificación de piezas en serie que deben guardar una cierta medida dentro de las tolerancias permitidas
- Es importante que la *temperatura* esté regulada a 20ºC para que no se altere la medida por la posible dilatación de la pieza a verificar
- Las galgas o calibres PASA-NO PASA son los más utilizados
  - Están formados por un mango de sujeción y dos elementos de medida, donde una medida corresponde al valor máximo de la cota a medir (NO PASA) y la otra corresponde al valor mínimo (PASA)

VERIFICACIÓN DE TOLERANCIAS. MEDICIÓN INDIRECTA

- Según sean las características de la cota a medir existen diferentes tipos de galgas o calibres fijos:
  - Calibres para espesores de superficies planas
  - Tampones de PASA y NO PASA
  - Galgas de herradura PASA y NO PASA
  - Tampones cónicos con la indicación de profundidad máxima
  - Acoplamientos cónicos con la indicación de profundidad máxima
  - Ejes roscados con PASA y NO PASA
  - Roscados exteriores PASA y NO PASA
  - Plantillas para medición del paso de rosca

CALIBRES PASA-NO PASA





TOLERANCIAS DIMENSIONALES GENERALES

- Cuando se realiza una pieza, es necesario asegurar una **calidad mínima de fabricación**.
- A esa calidad hacen referencia las **tolerancias generales**
- El establecimiento de tolerancias en el diseño debe asegurar que se han definido todas las características dimensionales y geométricas de todos los elementos de la pieza
  - No se debe sobrentender ni dejar nada a la apreciación del personal del taller o del servicio de control
- Además de las tolerancias generales, se pueden asignar tolerancias dimensionales y geométricas específicas (generalmente, de mayor precisión) dependiendo de la funcionalidad de la pieza
- La tolerancias generales son necesarias porque en caso de no poder mecanizar una pieza en el taller habitual, se tendrá que mecanizar en otro taller que cumpa los requisitos dimensionales requeridos para asegurar que no habrá ningún problema de ajustes entre elementos

TOLERANCIAS GENERALES

- **Tolerancias Generales para Dimensiones Lineales (excepto aristas matadas)**

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal							
Designación	**Descripción**	0,5 hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000
f	fina	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	media	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	grosera	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	muy grosera	-	±0,5	±1	±1,15	±2,5	±4	±6	±8

- Para valores nominales inferiores a 0,5 mm, las tolerancias deben indicarse siempre junto a la cota nominal correspondientes

TOLERANCIAS GENERALES

- **Tolerancias Generales para Dimensiones Angulares**

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles en función de la longitud del lado menor del ángulo considerado, en milímetros				
Designación	**Descripción**	hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400
f	fina	±1º	±0º30'	±0º20'	±0º10'	±0º5'
m	media	±1º	±0º30'	±0º20'	±0º10'	±0º5'
c	grosera	±1º30'	±1º	±0º30'	±0º15'	±0º10'
v	muy grosera	±3º	±2º	±1º	±0º30'	±0º20'

TOLERANCIAS GENERALES

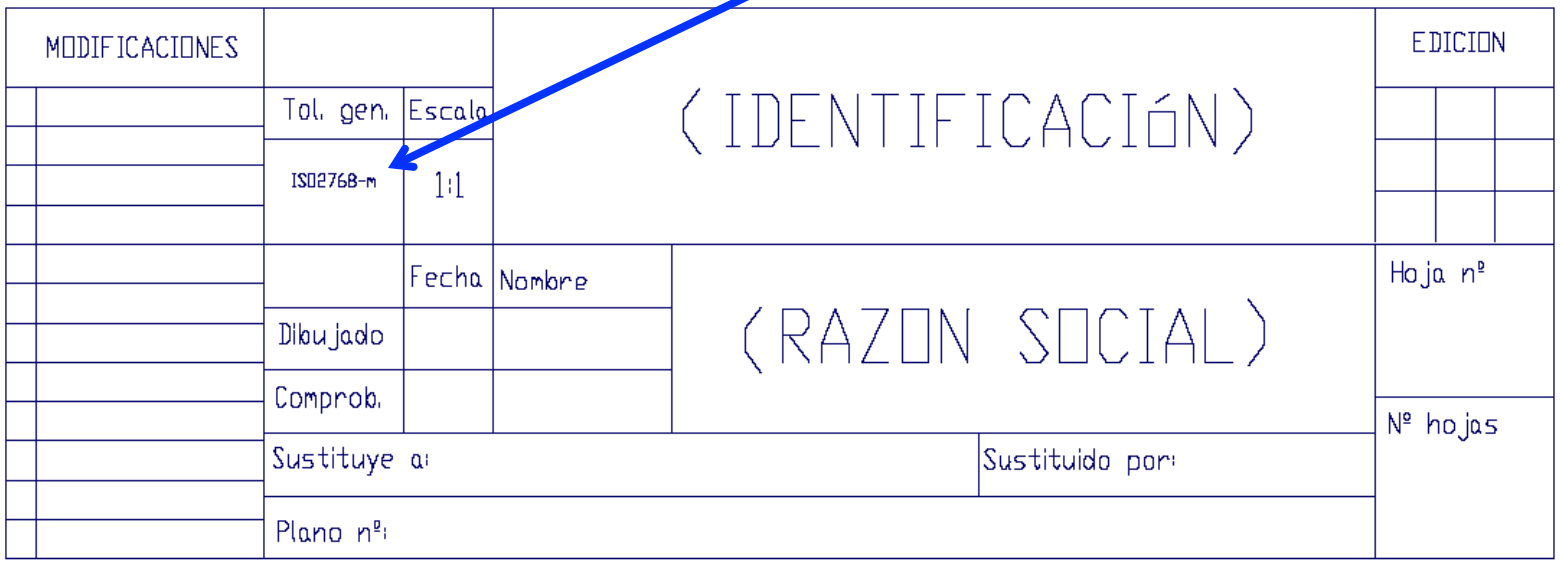
- **Tolerancias Generales para Dimensiones de Aristas Matadas (radios exteriores y alturas de chaflán)**

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al nominal (en mm)		
Designación	Descripción	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6
f	fina	± 0,2	± 0,5	± 1
m	media			
c	grosera	± 0,4	± 1	± 2
v	Muy grosera			

VENTAJAS DE LAS TOLERANCIAS GENERALES

- Dibujos más fáciles de entender y de manejar en el taller. El dibujo normalizado de los diferentes elementos permite identificar fácilmente aquellos elementos que pueden fabricarse según el procedimiento normal de fabricación
- Facilita la gestión del sistema de calidad, reduciendo los niveles de inspección
- Para el diseñador resulta sencillo determinar la tolerancia general y, a partir de esta, definir sólo los elementos que deben fabricarse con más cuidado y precisión
- Fijan un rango de valores permitidos para las cotas funcionales de la pieza
- El taller conoce su precisión habitual y es conocida por los clientes
- Es posible controlar que esta precisión no se degrade con el tiempo

TOLERANCIAS GENERALES

- Las dos normas fundamentales que las regulan son:
  - **UNE EN 22768 1:1993**
  - **ISO 2768 1:1989**
- Cuando hayan de aplicarse las tolerancias generales, en el bloque de títulos o en sus inmediaciones, deben figurar las indicaciones siguientes: “norma-clase de tolerancia”

ISO 2768-m