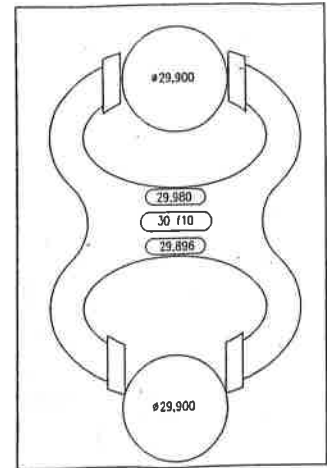


TOLERANCIAS DIMENSIONALES



La implantación industrial de la fabricación en serie hace que se deba establecer el principio de intercambiabilidad, según el cual cualquier pieza de una serie debe ser capaz de sustituir a otra que tenga sus mismas especificaciones.

Dado que dos piezas construidas no serán exactamente iguales, el aplicar el principio de intercambiabilidad exige que se deban establecer unos márgenes dentro de los cuales la pieza será aceptable. Estos márgenes constituyen lo que se denomina *tolerancia*. Cuando las tolerancias afectan a las medidas de una pieza, se denominan *tolerancias dimensionales*. Cuando afectan a una forma o a la posición de un elemento se denominan *tolerancias geométricas*.

7.1. Tolerancias dimensionales

Las *tolerancias dimensionales* fijan un rango de valores permitidos para las cotas funcionales de una pieza y afectan lógicamente sólo a las dimensiones de la misma.

En las tolerancias dimensionales se utilizan en general los términos de *eje* y *agujero* cuando se trata de una pareja de elementos, uno macho y otro hembra, que encajan entre sí, independientemente de la forma de la sección que tengan. El término de eje y agujero se usa porque la gran mayoría de las uniones están formadas por elementos cilíndricos, aunque los elementos pueden ser de revolución o no.

Por convenio, todas las variables y definiciones relativas a ejes se representan con minúsculas y todas las relativas a agujeros con mayúsculas.

7.1.1. Definiciones

Para el seguimiento de este tema es necesario conocer las siguientes definiciones:

- *Dimensión*: es la cifra que expresa el valor numérico de una longitud o de un ángulo.
- *Dimensión nominal* (*dN* para ejes, *DN* para agujeros): es el valor teórico que tiene una dimensión, respecto al que se consideran las medidas límites.
- *Dimensión efectiva* (*de* para eje, *De* para agujeros): es el valor real de una dimensión, que ha sido determinada midiendo sobre la pieza ya construida.
- *Dimensiones límites* (máxima, *dM* para ejes, *DM* para agujeros; mínima, *dm* para ejes, *Dm* para agujeros): son los valores extremos que puede tomar la dimensión efectiva.

- **Desviación o diferencia:** es la diferencia entre una dimensión y la dimensión nominal.
- **Diferencia efectiva:** es la diferencia entre la medida efectiva y la nominal.
- **Diferencia superior o inferior:** es la diferencia entre la dimensión máxima / mínima y la dimensión nominal correspondiente.
- **Diferencia fundamental:** es una cualquiera de las desviaciones límites (superior o inferior) elegida convenientemente para definir la posición de la zona de tolerancia en relación a la línea cero.
- **Línea de referencia o línea cero:** es la línea recta que sirve de referencia para las desviaciones o diferencias y que corresponde a la dimensión nominal.
- **Tolerancia (t para ejes, T para agujeros):** es la variación máxima que puede tener la medida de la pieza. Viene dada por la diferencia entre las medidas límites, y coincide con la diferencia entre las desviaciones superior e inferior.
- **Zona de tolerancia:** es la zona cuya amplitud es el valor de la tolerancia.
- **Tolerancia fundamental:** es la tolerancia que se determina para cada grupo de dimensiones y para cada calidad de trabajo.

Para los cálculos que se deban efectuar se pueden tener en cuenta las siguientes expresiones:

Para agujeros	Para ejes
$D_s = D_i + T$ $DM = D_m + T$ $T = DM - D_m = D_s - D_i$ $DM = DN + D_s$ $D_m = DN + D_i$	$ds = di + t$ $dM = d_m + t$ $t = dM - d_m = ds - di$ $dM = dN + ds$ $d_m = dN + di$

TABLA 7.1. Fórmulas de aplicación.

En la figura 7.1 aparecen representadas las definiciones ofrecidas anteriormente.

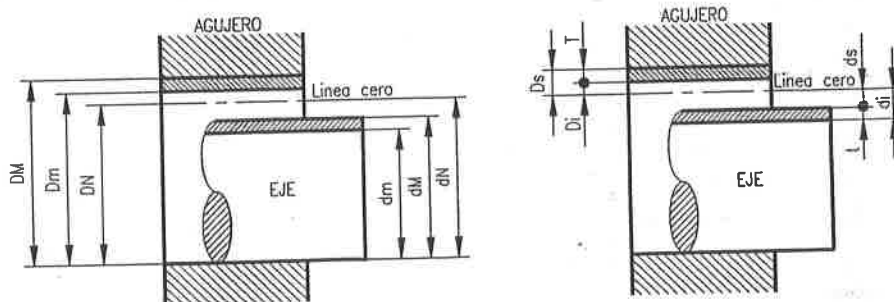


FIGURA 7.1. Definiciones.

En la figura 7.2 se ofrece un ejemplo de todas las magnitudes definidas anteriormente:

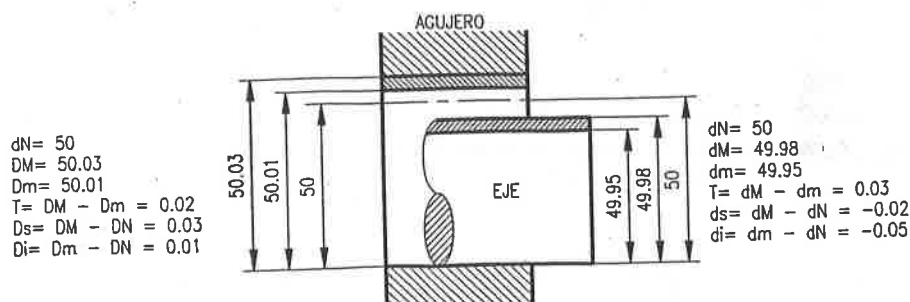


FIGURA 7.2. Ejemplo de las definiciones.

7.1.2. Representación de las tolerancias

Las tolerancias dimensionales se pueden representar en los dibujos de varias formas:

- Con su medida nominal seguida de las desviaciones límites.
- Con los valores máximo y mínimo.
- Con la notación normalizada ISO.

Las unidades de las desviaciones son las mismas que las de la dimensión nominal. Normalmente para las magnitudes lineales estas unidades serán milímetros, salvo indicación en contra.

Si se utiliza una unidad diferente del milímetro para todas las desviaciones de un plano, se debe indicar en una casilla del cajetín de dicho plano.

El número de cifras decimales debe ser el mismo en las dos diferencias, salvo que una de ellas sea nula.

Si los elementos afectados de tolerancia se representan con su medida nominal seguida de las desviaciones límites (figura 7.3) se deben tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- La desviación superior siempre se coloca encima de la inferior, tanto en ejes como en agujeros (figuras 7.3a, 7.3b, 7.3c, 7.3d y 7.3e).
- Si una diferencia es nula, se expresa sin decimales (figura 7.3b).
- Si la diferencia superior es igual a la inferior cambiada de signo, se escribe solamente el valor absoluto de las diferencias precedido del signo \pm (figura 7.3c y 7.3e).
- Los convenios son los mismos para las cotas lineales que para las angulares (figuras 7.3d y 7.3e).

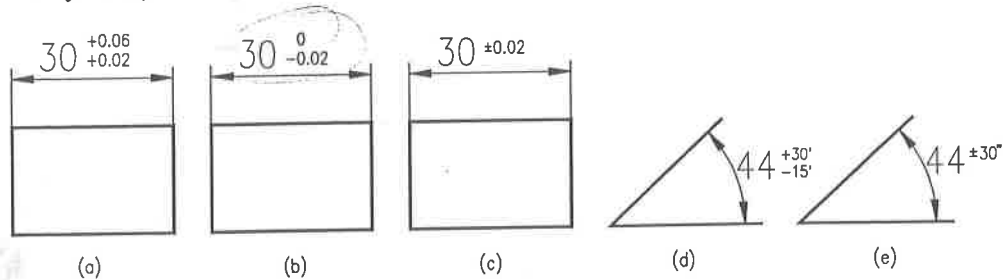


FIGURA 7.3. Representación de las tolerancias.

El elemento afectado de tolerancias puede indicarse con las dos medidas límites según se indica en la figura 7.4.

Si la medida está limitada en un sentido único, después de la cifra de cota se debe consignar la indicación *máx* o *mín* (figura 7.4b).

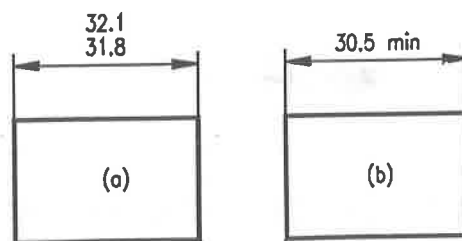


FIGURA 7.4. Representación de tolerancias.

Los símbolos ISO utilizados para representar las tolerancias dimensionales tienen tres componentes (figura 7.5a):

- 1^{er} componente: medida nominal.
- 2^a componente: una letra representativa de la diferencia fundamental en valor y en signo (minúscula para eje, mayúscula para agujero), que indica la posición de la zona de tolerancia.
- 3^{er} componente: un número representativo de la anchura de la zona de tolerancia (calidad de la tolerancia).

Cuando convenga, y para mayor claridad, se pueden añadir entre paréntesis los valores de las tolerancias (figura 7.5b).

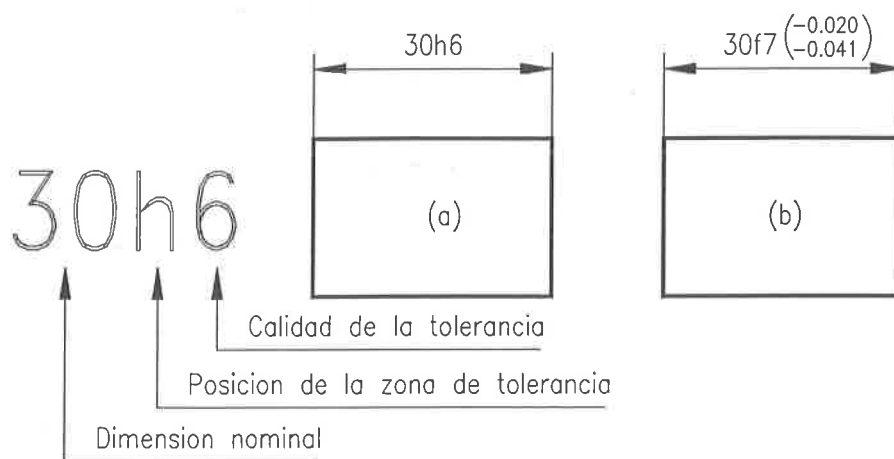


FIGURA 7.5. Símbolos ISO.

7.1.3. Calidad de la tolerancia

Desde el punto de vista de la dimensión nominal, la norma UNE 4-040-81 / ISO 286(I)-62) presenta el sistema ISO de tolerancias para dimensiones nominales comprendidas entre 0 y 500 mm. Se realiza una partición en grupos de diámetros, según puede verse en las tablas I, II y III.

Las tolerancias dimensionales tienen en cuenta la calidad de la pieza. La *calidad* o *índice de calidad* es un conjunto de tolerancias que se corresponde con un mismo grado de precisión para cualquier grupo de diámetros. Cuanto mayor sea la calidad de la pieza, menor será la tolerancia.

La norma ISO distingue dieciocho calidades (o dieciocho grados de tolerancia) designados como IT01 IT0, IT1, IT2, ..., IT16, con tanto menor índice de calidad cuanto mayor es el número asociado a la designación.

De esta forma, las calidades 01 a 3 para ejes y 01 a 4 para agujeros se usan para calibres y piezas de alta precisión. Las calidades 4 a 11 para ejes y 5 a 11 para agujeros, están previstas para piezas que van a estar sometidas a ajustes. Por último, las calidades superiores a 11 se usan para piezas o elementos aislados que no requieren un acabado tan fino.

En la tabla 7.2 se muestran los valores fundamentales en micras para cada una de las dieciocho calidades y para cada uno de los trece grupos de dimensiones de la serie principal.

Estos valores corresponden a la *anchura de la zona de tolerancia* para cada grupo de diámetros y para cada índice de calidad.

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

TABLA 7.2. Valores numéricos de amplitudes de zonas de tolerancia.

7.1.4. Posición de la zona de tolerancia

El sistema ISO de tolerancias define veintiocho posiciones diferentes para las zonas de tolerancia, situadas respecto a la línea cero. Se definen mediante unas letras (mayúsculas para agujeros y minúsculas para ejes), según se muestra a continuación:

Agujeros: A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, J, Js, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC.

Ejes: a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc.

En la figura 7.6 se observan las posiciones relativas de las distintas zonas de tolerancia para ejes y agujeros respecto a la línea cero.

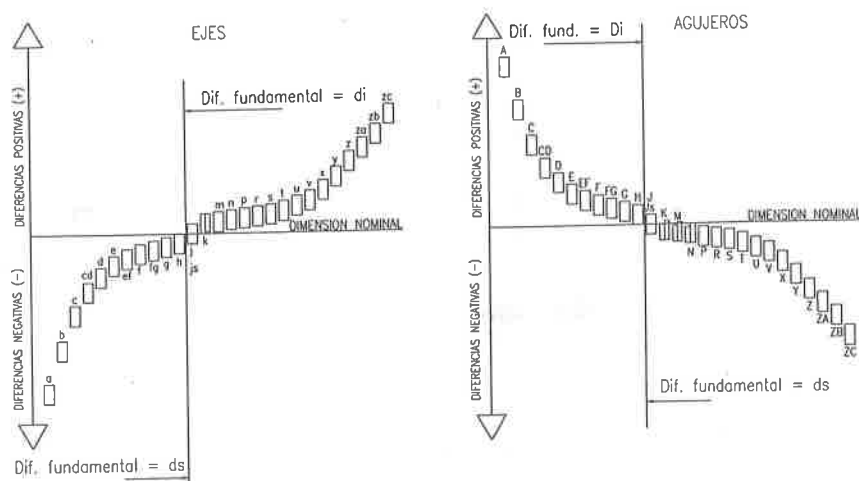


FIGURA 7.6. Posiciones de las zonas de tolerancia.

En la tabla 7.3 se ofrecen las diferencias fundamentales para ejes expresadas en micras. La diferencia fundamental es igual a la superior “*ds*” para las posiciones *a* hasta *h*, y la inferior para las posiciones *j* hasta *zc*. La otra diferencia fundamental se puede calcular a través de las relaciones:

$$di = ds - t \quad \text{o} \quad ds = di + t$$

En la tabla 7.4 se muestran las diferencias fundamentales para agujeros expresadas en micras. La diferencia fundamental es la inferior “*Di*” para las posiciones *A* hasta *H*, y la inferior para las posiciones *J* hasta *ZC*. La otra diferencia fundamental se puede calcular a través de las relaciones:

$$Ds = Di + T \quad \text{o} \quad Di = Ds - T$$

Dado que para cada grupo de diámetros nominales se pueden elegir un número elevado de zonas de tolerancia y de grados de calidad, se recomienda utilizar solamente algunas zonas de tolerancia, llamadas *zonas de tolerancia preferentes* (tabla 7.3).

						g5	h5	js5	k5	m5	n5	p5	r5	s5	t5	
					f6	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	
			e7	f7			h7	js7	k7	m7	n7	p7	r7	s7	t7	u7
			d8	e8	f8		h8									
			d9	e9			h9									
			d10													
a11	b11	c11					h11									

						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									

TABLA 7.3. Zonas de tolerancia preferentes.

Posición	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc	
Calidad	Todas las calidades																											
	Diferencia superior ds														Diferencia inferior di													
Diferencia fundamental																												
$d \leq 3$	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$3 < d \leq 6$	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$6 < d \leq 10$	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 < d \leq 14$	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0	-3	-6	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$14 < d \leq 18$	-300	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0	-4	-8	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$18 < d \leq 24$	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0	-5	-10	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$24 < d \leq 30$	-320	-180	-130	-	-100	-60	-	-30	-	-10	0	-7	-12	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$30 < d \leq 40$	-340	-190	-140	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0	-9	-15	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$40 < d \leq 50$	-360	-200	-150	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0	-11	-18	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$50 < d \leq 65$	-380	-220	-170	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0	-13	-21	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$65 < d \leq 80$	-410	-240	-180	-	-200	-120	-	-60	-	-17	0	-16	-26	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$80 < d \leq 100$	-460	-260	-200	-	-240	-140	-	-70	-	-19	0	-18	-30	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$100 < d \leq 120$	-520	-280	-210	-	-300	-160	-	-80	-	-21	0	-20	-33	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$120 < d \leq 140$	-580	-310	-230	-	-360	-180	-	-90	-	-23	0	-22	-36	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$140 < d \leq 160$	-660	-340	-240	-	-420	-200	-	-100	-	-25	0	-24	-39	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$160 < d \leq 180$	-740	-380	-260	-	-480	-220	-	-110	-	-27	0	-26	-42	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$180 < d \leq 200$	-820	-420	-280	-	-540	-240	-	-120	-	-29	0	-28	-45	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$200 < d \leq 225$	-920	-460	-300	-	-600	-260	-	-130	-	-31	0	-30	-48	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$225 < d \leq 250$	-1050	-500	-330	-	-660	-280	-	-140	-	-33	0	-32	-51	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$250 < d \leq 280$	-1200	-540	-360	-	-720	-300	-	-150	-	-35	0	-34	-54	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$280 < d \leq 315$	-1350	-580	-400	-	-800	-320	-	-160	-	-37	0	-36	-57	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$315 < d \leq 355$	-1500	-620	-440	-	-900	-340	-	-170	-	-39	0	-38	-60	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$355 < d \leq 400$	-1650	-660	-480	-	-1000	-360	-	-180	-	-41	0	-40	-63	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$400 < d \leq 450$	-1800	-700	-520	-	-1100	-380	-	-190	-	-43	0	-42	-66	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$450 < d \leq 500$	-2000	-740	-560	-	-1200	-400	-	-200	-	-45	0	-44	-69	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Para la posición js, $di = -IT/2$ y $ds = IT/2$

TABLA 7.4. Diferencias fundamentales para ejes (en micras).

Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js
Calidad	Todas las calidades											
Diámetro	Diferencia inferior Di											
$d \leq 3$	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	-IT/2
$3 < d \leq 6$	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	
$6 < d \leq 10$	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	
$10 < d \leq 18$	+290	+150	+95	—	+50	+32	—	+16	—	+6	0	
$18 < d \leq 30$	+300	+160	+110	—	+65	+40	—	+20	—	+7	0	
$30 < d \leq 40$	+310	+170	+120	—	+80	+50	—	+25	—	+9	0	
$40 < d \leq 50$	+320	+180	+130	—	—	—	—	—	—	—	—	
$50 < d \leq 65$	+340	+190	+140	—	+100	+60	—	+30	—	+10	0	
$65 < d \leq 80$	+360	+200	+150	—	—	—	—	—	—	—	—	
$80 < d \leq 100$	+380	+220	+170	—	+120	+72	—	+36	—	+12	0	
$100 < d \leq 120$	+410	+240	+180	—	—	—	—	—	—	—	—	
$120 < d \leq 140$	+460	+260	+200	—	—	—	—	—	—	—	—	
$140 < d \leq 160$	+520	+280	+210	—	+145	+85	—	+43	—	+14	0	
$160 < d \leq 180$	+580	+310	+230	—	—	—	—	—	—	—	—	
$180 < d \leq 200$	+660	+340	+240	—	—	—	—	—	—	—	—	
$200 < d \leq 225$	+740	+380	+260	—	+170	+100	—	+50	—	+15	0	
$225 < d \leq 250$	+820	+420	+280	—	—	—	—	—	—	—	—	
$250 < d \leq 280$	+920	+480	+300	—	+190	+110	—	+56	—	+17	0	
$280 < d \leq 315$	+1050	+540	+330	—	—	—	—	—	—	—	—	
$315 < d \leq 335$	+1200	+600	+360	—	+210	+125	—	+62	—	+18	0	
$335 < d \leq 400$	+1350	+680	+400	—	—	—	—	—	—	—	—	
$400 < d \leq 450$	+1500	+760	+440	—	+230	+135	—	+68	—	+20	0	
$450 < d \leq 500$	+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
Diámetro	Diferencia superior Ds																				
$d \leq 3$	+2	+4	+6	0	0	0	0	-2	-2	-2	-2	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-6	-6	-6	-6
$3 < d \leq 6$	+5	+6	+10	0	+2	+3	+5	-3	-1	0	+2	-4	-7	-5	-4	-2	0	-11	-9	-8	-12
$6 < d \leq 10$	+5	+8	+12	+1	+2	+5	+6	-4	-3	0	+1	-6	-8	-7	-4	-3	0	-13	-12	-9	-15
$10 < d \leq 18$	+6	+10	+15	+2	+2	+6	+8	-4	-4	0	+2	-7	-9	-9	-5	-3	0	-15	-15	-11	-18
$18 < d \leq 30$	+8	+12	+20	+1	+2	+6	+10	-5	-4	0	+4	-8	-12	-11	-7	-3	0	-19	-18	-14	-22
$30 < d \leq 40$	+10	+14	+24	+2	+3	+7	+12	-5	-4	0	+5	-9	-13	-12	-8	-3	0	-22	-21	-17	-26
$40 < d \leq 50$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$50 < d \leq 65$	+13	+18	+28	+3	+4	+9	+14	-6	-5	0	+5	-11	-15	-14	-9	-4	0	-27	-26	-21	-32
$65 < d \leq 80$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$80 < d \leq 100$	+16	+22	+34	+2	+4	+10	+16	-8	-6	0	+6	-13	-18	-16	-10	-4	0	-32	-30	-24	-37
$100 < d \leq 120$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$120 < d \leq 140$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$140 < d \leq 160$	+18	+26	+41	+3	+4	+12	+20	-9	-8	0	+8	-15	-21	-20	-12	-4	0	-37	-36	-28	-43
$160 < d \leq 180$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$180 < d \leq 200$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$200 < d \leq 225$	+22	+30	+47	+2	+5	+13	+22	-11	-8	0	+9	-17	-25	-22	-14	-5	0	-44	-41	-33	-50
$225 < d \leq 250$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$250 < d \leq 280$	+25	+36	+55	+3	+5	+16	+25	-13	-9	0	+9	-20	-27	-25	-14	-5	0	-49	-47	-36	-56
$280 < d \leq 315$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$315 < d \leq 335$	+29	+39	+60	+3	+7	+17	+28	-14	-10	0	+11	-21	-30	-26	-16	-5	0	-55	-51	-41	-62
$335 < d \leq 400$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$400 < d \leq 450$	+33	+43	+66	+2	+8	+18	+29	-16	-10	0	+11	-23	-33	-27	-17	-6	0	-61	-55	-45	-68
$450 < d \leq 500$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

TABLA 7.5. Diferencias fundamentales para agujeros (en micras).

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

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

TABLA 7.5. (cont.) Diferencias fundamentales para agujeros (en micras).

7.2. Ajustes

7.2.1. Introducción y definiciones

Se denomina *ajuste* a la diferencia entre las medidas antes del montaje de dos piezas que han de acoplar. Según la zona de tolerancia de la medida interior y exterior, el ajuste puede ser: *ajuste móvil o con juego*, *ajuste indeterminado* y *ajuste fijo o con apriete*.

Se denomina *juego (J)* a la diferencia entre las medidas del agujero y del eje, antes del montaje, cuando ésta es positiva, es decir, cuando la dimensión real del eje es menor que la del agujero. *Ajuste con juego o ajuste móvil* es un tipo de ajuste en el que la diferencia entre las medidas efectivas de agujero y eje resulta positiva (figura 7.7). *Juego máximo (JM)* es la diferencia que hay entre la medida máxima del agujero y la mínima del eje. *Juego mínimo (Jm)* es la diferencia entre la medida mínima del agujero y la máxima del eje. Se llama *tolerancia del juego (TJ)* a la diferencia entre los juegos máximo y mínimo, que coincide con la suma de las tolerancias del agujero y del eje.

$$\begin{aligned} J &= D_e - d_e > 0 \\ JM &= DM - dm \\ Jm &= Dm - dM \\ TJ &= JM - Jm = T + t \end{aligned}$$

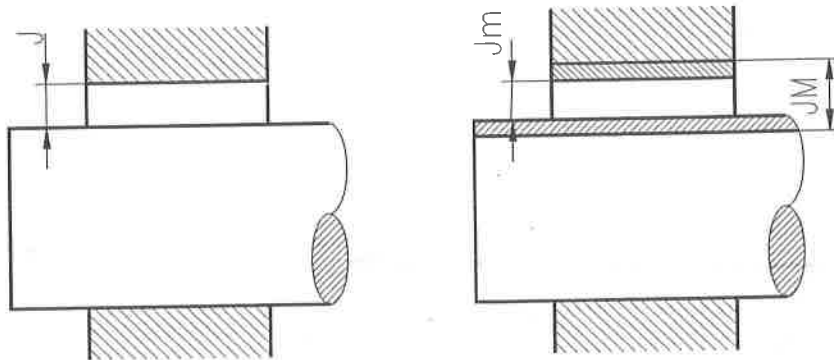


FIGURA 7.7. Juegos.

Se denomina *aprieto (A)* a la diferencia entre las medidas efectivas de eje y agujero, antes del montaje, cuando ésta es positiva, es decir, cuando la dimensión real del eje es mayor que la del agujero. *Ajuste con aprieto o ajuste fijo* es un tipo de ajuste en el que la diferencia entre las medidas efectivas de eje y agujero es negativa (figura 7.8). *Aprieto máximo (AM)* es el valor de la diferencia entre la medida máxima del eje y la mínima del agujero. *Aprieto mínimo (Am)* es el valor de la diferencia entre la medida mínima del eje y la máxima del agujero. Se llama *tolerancia del aprieto (TA)* a la diferencia entre los aprietos máximo y mínimo, que coincide con la suma de las tolerancias del agujero y del eje.

$$\begin{aligned} A &= d_e - D_e > 0 \\ AM &= dM - Dm \\ Am &= dm - DM \\ TA &= AM - Am = T + t \end{aligned}$$

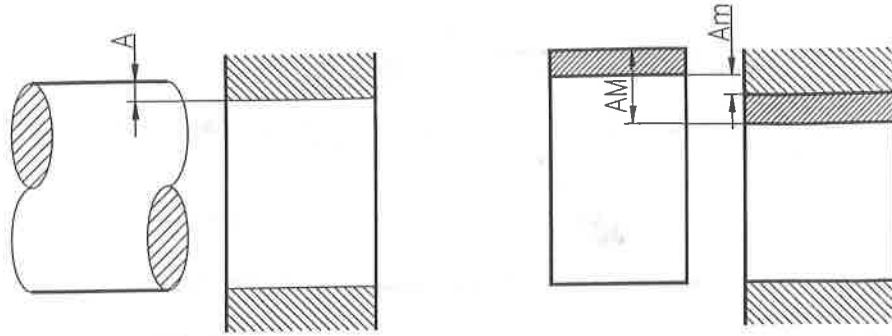


FIGURA 7.8. Aprietos.

Se denomina *ajuste indeterminado (I)* a un tipo de ajuste en el que la diferencia entre las medidas efectivas de agujero y eje puede ser positiva o negativa, dependiendo de cada montaje concreto (Figura 7.9). Se llama *tolerancia del ajuste indeterminado (TI)* a la suma del juego máximo y del aprieto máximo, que coincide con la suma de las tolerancias del agujero y del eje.

$$I = D_e - d_e < 0 \text{ ó } > 0$$

$$JM = DM - d_m$$

$$AM = d_M - D_m$$

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

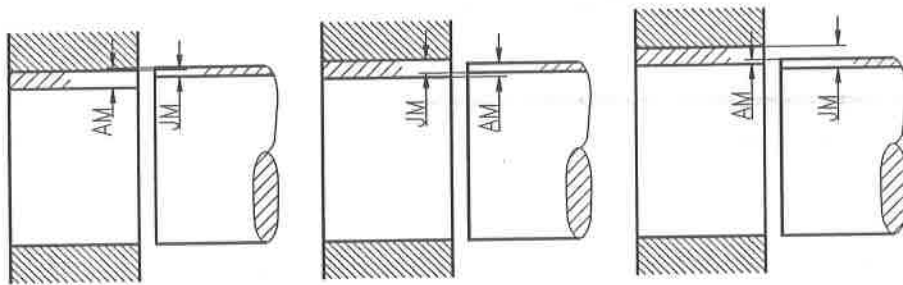


FIGURA 7.9. Ajustes indeterminados.

7.2.2. Representación de los ajustes

Los ajustes se designan simbólicamente indicando las tolerancias del agujero y del eje por medio de cifras (figura 7.10) o por medio de los símbolos ISO (figura 7.11).

Cuando se indican las cifras de las tolerancias, la representación del ajuste puede realizarse designando el elemento (figura 7.10a) o identificándolo con su número de marca (figura 7.10 b).

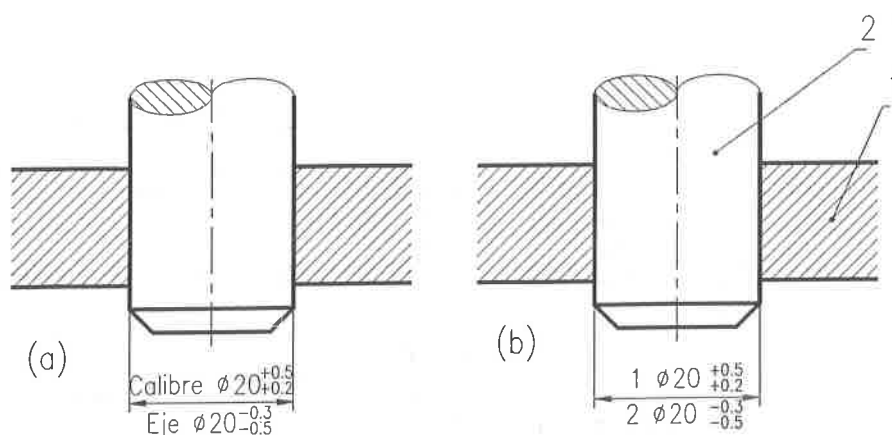


FIGURA 7.10. Representación de las tolerancias de los ajustes por medio de cifras.

Cuando se utilizan los símbolos ISO, el símbolo de la tolerancia del agujero debe consignarse antes que el del eje (figura 7.11a) o sobre éste (figura 7.11b).

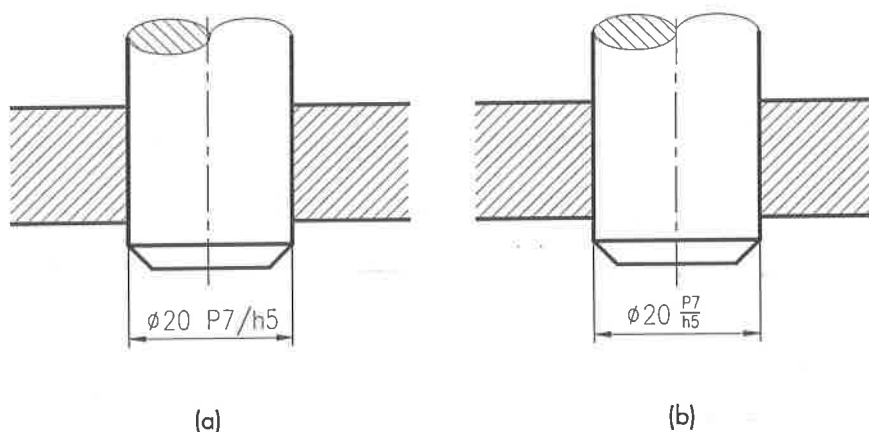


FIGURA 7.11. Representación de las tolerancias de los ajustes mediante símbolos ISO.

7.2.3. Sistemas ISO de ajuste

Los sistemas de ajuste se utilizan para reducir y simplificar la enorme variedad de ajustes posibles. Se denomina *sistema de ajuste* a una serie sistemática de ajustes que es el resultado de la combinación de determinadas zonas de tolerancia para ejes y agujeros. ISO utiliza solamente dos sistemas de ajuste, denominados sistema de *agujero base* y sistema de *eje base*.

A) Sistema de agujero base o agujero único

El sistema de *agujero base* o *agujero único* es un sistema de ajuste en el que las diferencias fundamentales de todos los agujeros son iguales (agujero único). El sistema ISO elige un agujero cuya diferencia inferior es nula, es decir, la zona de tolerancia está en posición *H*

(figura 7.12). De esta forma los diferentes ajustes (juegos o aprietos) se obtienen a partir de un agujero con la zona de tolerancia en posición H y un eje con posición variable en función del tipo de ajuste. La calidad del agujero también puede ser variable.

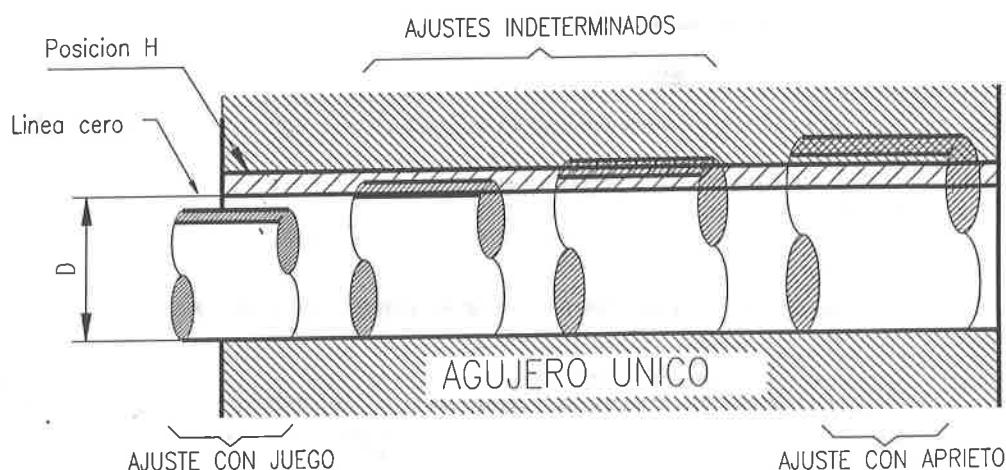


FIGURA 7.12. Sistema de agujero único.

B) Sistema de eje base o eje único

El sistema de *eje base o eje único* es un sistema de ajuste en el que las diferencias fundamentales de todos los ejes son iguales (eje único). El sistema ISO elige un eje cuya diferencia superior es nula, es decir, la zona de tolerancia está en posición h (figura 7.13). De esta forma los diferentes ajustes (juegos o aprietos) se obtienen a partir de un eje con la zona de tolerancia en posición h y un agujero con posición variable en función del tipo de ajuste. La calidad del eje también puede ser variable.

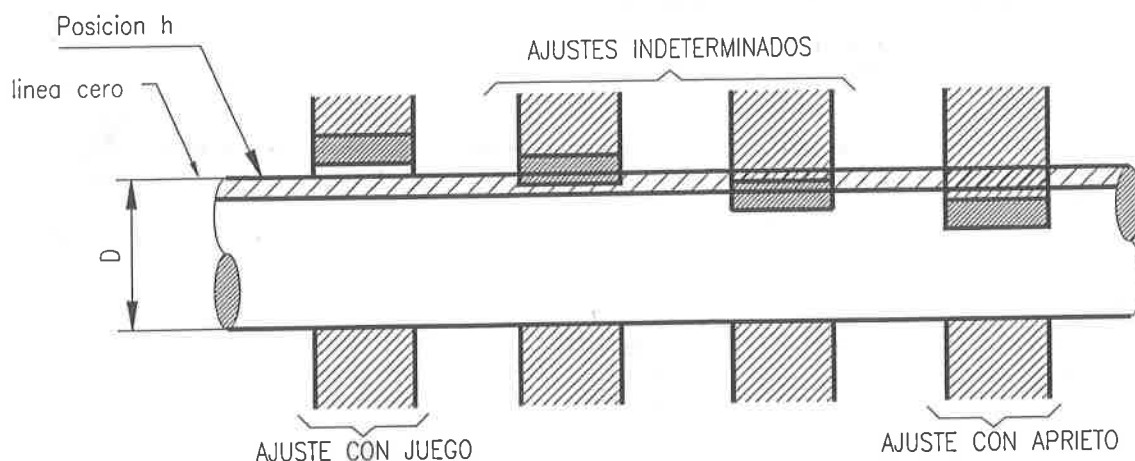


FIGURA 7.13. Sistema de eje único.

C) Sistema mixto

Se denomina sistema mixto a un sistema de ajuste en el que las posiciones del agujero y del eje no son ni la H ni la h . Únicamente se debe recurrir a este sistema cuando por algún motivo no se puedan utilizar ni los sistemas de agujero base ni los de eje base.

7.2.4. Elección de los ajustes. Aplicaciones

El objetivo de esta sección es dar unas breves orientaciones en relación a la elección del sistema de ajuste, ya que este tema está fuera del ámbito que comprende el presente texto.

Al fijar los juegos límites de un acoplamiento se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- 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 se hacen las piezas.
- Velocidad de funcionamiento.
- Naturaleza, intensidad, dirección, sentido, variación y prioridad de los esfuerzos.
- Engrase.
- Temperatura de funcionamiento: este factor es muy importante, dado que la temperatura provoca dilataciones y modifica el acoplamiento.
- Desgaste.
- Geometría del conjunto, con el fin de que las tolerancias de forma y posición sean compatibles con las indicaciones de tolerancia del juego.

Una vez considerados los factores anteriores, para determinar los juegos límites se tendrá en cuenta que:

- Se debe evitar todo exceso de precisión y toda precisión inútil. La precisión es cara, por lo que las tolerancias serán tan amplias como sea posible, teniendo en cuenta por supuesto el buen funcionamiento del conjunto. Deben evitarse siempre excesos de precisión cuando no sean necesarios. Por esta razón, y para una mayor economía de la fabricación y del control, se han seleccionado las zonas de tolerancia preferentes dentro de los sistemas ISO de eje y agujero únicos. Por último, es conveniente elegir una zona de tolerancia preferente.
- Siempre que sea posible se debe adoptar mayor tolerancia para el agujero que para el eje. En ocasiones, los elementos normalizados (por ejemplo, rodamientos) tienen predeterminada su tolerancia, por lo que solamente se deberá determinar la del elemento que encaje con ellos (eje o agujero).
- Se deben elegir las tolerancias de forma que las calidades del eje y del agujero no varíen en más de dos índices. Si existen varias combinaciones posibles de índices de calidad, todas ellas próximas entre sí, se elegirá la combinación que dé más tolerancia al ajuste.
- Siempre se ha de tener en cuenta la experiencia de ajustes análogos que resulten satisfactorios.

En la tabla 7.6 se presentan los ajustes utilizados con más frecuencia. Una vez determinado el ajuste mínimo compatible con el funcionamiento del conjunto se elige, si es posible de entre los que aparecen en la tabla, el que más se aproxime a lo calculado.

Ajuste		Posición del eje	Calidad del eje				
Tipo	Aplicación		H6	H7	H8	H9	H11
Móvil (Juego)	Montaje que necesita gran juego (dilatación, mala alineación, etc.)	c d				9 9	11 11
	Montaje deslizante o giratorio (engrase necesario)	e f	6	7 6-7	8 7	9	
	Piezas con guía para pequeños desplazamientos	g	5	6			
Fijo (Aprieto)	Montaje fácil Desmontaje sin deterioro No transmisión de esfuerzos	h js k m	5 5 5	6 6 6	7	8	
	Montaje a presión o dilatación Desmontaje con deterioro Transmisión de esfuerzos	p s u x z		6	7 7 7 7		

TABLA 7.6. Selección de los ajustes. (Leiceaga Baltar, J., *Normas de Dibujo Técnico*. Ed. Donostiarra, 1986).

El sistema de agujero base es el que se utiliza preferentemente debido a que por lo general es más fácil modificar las tolerancias de un eje que los de un agujero. Sin embargo, en algunos casos resulta más ventajoso el eje único (cuando la pieza macho está normalizada, cuando la pieza macho es un árbol que tiene que ajustar con agujeros de diámetros diversos o cuando se utilizan ejes de acero estirado).

Como norma general, a un agujero de una calidad determinada, se le asocia un eje de calidad inmediatamente inferior o igual en la escala (por ejemplo, H7/n6, N7/h6, H7/h7, etc.). En estos tipos de ajuste pueden permutarse entre sí las letras que designan la posición sin que se vea alterado el tipo de ajuste. De esta forma, H7/n6 equivale a N7/h6, H6/g5 equivale a G5/h6, etc.

Respecto al montaje de las piezas, cuanto mayores sean los ajustes, se necesitarán más ayudas para montar y desmontar las piezas. De esta forma, las piezas con aprieto pueden montarse a mano, con mazos o martillos o con prensas. En algunas ocasiones es necesario calentar una de las piezas, tallar un cono de entrada, etc. Asimismo, el desmontaje puede hacerse a mano con algún tipo de ayuda.

Respecto a las aplicaciones en que pueden utilizarse ajustes, en la tabla 7.7 se exponen las más características.

Tipo	Agujero base		Eje base		Clase	Características	Aplicaciones
	Agujero	Eje	Eje	Agujero			
Fino	H7	s6/r6	h6	S7/R7	Prensado	Montaje a presión No seguro de giro	Casquillos y coronas de bronce, acoplamientos en extremos de ejes
		n6		N7	Forzado duro	Montaje difícil Seguro de giro	Casquillos de bronce, manguitos en cubos, collares calados sobre ejes

Tipo	Agujero base		Eje base		Clase	Características	Aplicaciones
	Agujero	Eje	Eje	Agujero			
Fino		k6		K7	Forzado medio	Montaje a martillo Seguro giro y deslizamiento	Rodamientos, discos de levas, poleas y volantes, manivelas
		j6		J7	Forzado ligero	Montaje a mano Ambos seguros	Piezas de máquinas herramienta y otras desmontables con frecuencia
		h6		H7	Deslizante		Engranajes, piezas importantes de máquina herramienta
		g6		G7	Giratorio	Juego pequeño de rodamientos	Émbolos, bridas, anillos
		f7		F8	Holgado	Juego mediano	Cojinetes de bielas, ruedas dentadas, cajas de cambio
Medio	H8	h9	h9	H9	Deslizante		Poleas fijas, manivelas y acoplamientos deslizantes sobre el eje
		e8		E9	Giratorio	Juego mediano	Piezas de motores, bombas, ventiladores
		d9		D10	Holgado	Juego amplio	Soportes de ejes, poleas locas
Basto	H11	h11	h11	H11	Deslizante		Piezas de maquinaria agrícola
		d9		D10	Giratorio	Juego mediano	Ejes de movimiento longitudinal, aros, palancas y manivelas desmontables
		e11		E11	Holgado	Juego amplio	Cojinetes de máquinas domésticas, pasadores ejes
		a11		A11	Muy holgado		Piezas de locomotoras Cojinetes ejes de freno

TABLA 7.7. Aplicaciones de los ajustes. (Leiceaga Baltar, J., *Normas de Dibujo Técnico*. Ed. Donostiarra, 1986).

7.2.5. Determinación del ajuste normalizado

En primer lugar se determinarán los ajustes límites (JM y Jm, AM y Am, etc.) que se quieren utilizar, bien por cálculo, bien por experiencia. En los ejercicios que se van a realizar, normalmente serán siempre datos del problema. Seguidamente se deducirán las dimensiones normalizadas del agujero y del eje. Para ello se procederá del modo siguiente:

1. Determinar el valor de la tolerancia del ajuste. Por ejemplo, para un juego:

$$TJ = JM - Jm = (DM - Dm) + (dM - dm)$$

2. Repartir la tolerancia TJ entre dos tolerancias normalizadas, procurando que la diferencia de calidades entre eje y agujero sea uno o dos puntos, y que la mayor corresponda al agujero (la tolerancia más elevada debe ser la del agujero). Elegir las tolerancias de eje y agujero, de forma que su suma sea lo más próxima posible a la del ajuste y menor que ésta. Por ejemplo, para un juego:

$$JM - Jm \geq T + t$$

3. Se elige el sistema de ajuste normalizado (agujero o eje único o mixto).
4. Establecer las condiciones para determinar el ajuste normalizado.

A) Ejemplo

Se desea realizar un ajuste normalizado para un diámetro nominal de 70 mm con:

$$JM = 130 \mu\text{m} \text{ y } Jm = 40 \mu\text{m}$$

De esta forma, para diámetro nominal 70 se buscará en la tabla I una pareja de valores, T y t, para eje y agujero de forma que:

$$TJ = 130 - 40 = 90 \mu\text{m} \geq T \text{ (IT Agujero)} + t \text{ (IT Eje)}$$

Para D= 70 mm, se tendrá que:

$$t \text{ (IT7)} = 30 \quad \text{e} \quad T \text{ (IT8)} = 46$$

de forma que $T + t = 76 \leq 90$

B) Sistema de ajuste de agujero base

En el sistema de agujero único o agujero base, el ajuste corresponderá a una posición H para el agujero. Establecidas las tolerancias para eje y agujero y la posición de la zona de tolerancia H para el agujero, el ajuste de la forma será 70 H8 / ?7.

Para determinar el ajuste concreto, se deberán tener en cuenta los condicionantes de diseño, que pueden ser de dos tipos. Dados un juego máximo y un juego mínimo como datos de partida, se puede buscar el ajuste teniendo en cuenta que:

- a) Su juego máximo sea menor que el dato de diseño y su juego mínimo sea mayor que el de diseño (en este caso siempre se cumplirá la condición de que el ajuste tendrá un juego máximo, que como máximo será el de diseño, y un juego mínimo, que como mínimo será el de diseño).
- b) Es posible averiguar el ajuste más próximo a los datos de partida, pudiéndose obtener un juego máximo ligeramente superior al de diseño o un juego mínimo ligeramente inferior al de diseño dependiendo del enunciado del problema.

Veamos cómo se obtendría el ajuste (figura 7.14):

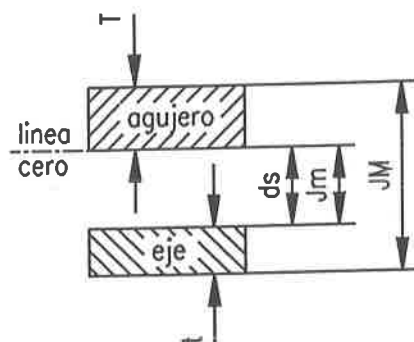


FIGURA 7.14. Sistema de agujero base.

Si el juego máximo debe ser, como máximo 130, se deberá cumplir que:

$$130 \geq DM - dm = (Di + T) - (ds - t)$$

y sustituyendo por los valores conocidos de $T = 46$, $t = 30$ y $Di = 0$, resulta la siguiente condición de:

$$130 \geq (0 + 46) - (ds - 30)$$

es decir:

$$ds \geq -54$$

Por otra parte, si el juego mínimo debe ser como mínimo 40, se deberá cumplir que:

$$40 \leq Dm - dM = (Di) - (ds)$$

que sustituyendo por los valores conocidos de $Di = 0$, resulta una condición de:

$$ds \leq -40$$

es decir, se debe cumplir simultáneamente que:

$$ds \geq -54 \quad \text{y} \quad ds \leq -40$$

por lo que no hay ningún valor de ds que cumpla las dos condiciones.

Está claro que para calidades IT8 e IT7, no existe ningún ajuste que tenga sus juegos máximo y mínimo comprendidos entre los de diseño. En este caso se deberá reducir uno de los dos índices de calidad, tomándose calidad 7 para el agujero.

La posición más cercana a las dos condiciones, aunque no cumple la primera, es la posición e con $ds = -60$, obteniéndose el ajuste 70 H8 / e7. Para este caso se tendrán unos juegos máximos y mínimos de:

$$JM = 46 + 60 + 30 = 136 \mu m$$

$$Jm = 60 \mu m$$

Como se puede observar, este ajuste tiene unos límites superiores a los marcados, aunque es el que más se aproxima. En el caso de no ser aceptables las pequeñas diferencias obtenidas, habría que elegir un ajuste tal que el campo de variación de sus juegos estuviera comprendido entre los valores dados.

Si se toma calidad 7 para el agujero tendremos:

$$130 \geq DM - dm = (Di + T) - (ds - t)$$

donde sustituyendo por los valores conocidos de $T = 30$, $t = 30$ y $Di = 0$, resulta una condición de:

$$130 \geq (0 + 30) - (ds - 30)$$

es decir:

$$ds \geq -70$$

Por otra parte, si el juego mínimo debe ser como mínimo 60, se deberá cumplir que:

$$40 \leq Dm - dM = (Di) - (ds)$$

que sustituyendo por los valores conocidos de $Di = 0$, resulta una condición de:

$$ds \leq -40$$

es decir, se debe cumplir simultáneamente que:

$$ds \geq -70 \text{ y } ds \leq -40$$

por lo que existe la posición e, con $ds = -60$ que cumple la condición, por lo que finalmente tendremos:

$$JM = 30 + 30 + 60 = 120 \mu\text{m}$$

$$Jm = 60 \mu\text{m}$$

C) Sistema de eje base

En el sistema de eje único o eje base, el ajuste será $70_{-8/h7}$.

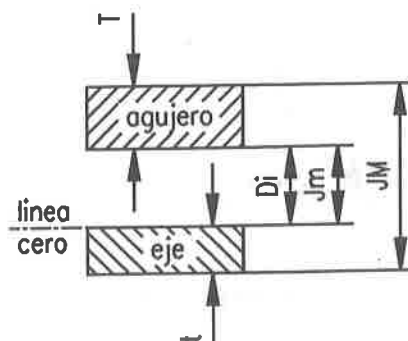


FIGURA 7.15. Sistema de eje base.

En la tabla de desviaciones de ejes, para $d = 70 \text{ mm}$ (entre 65 y 80) el valor más próximo a $J_m = 40 \mu\text{m}$ es la posición E con $D_i = 60 \mu\text{m}$.

El ajuste normalizado en este sistema sería el 70 E8/h7, donde:

$$JM = 46 + 60 + 30 = 136 \mu\text{m}$$

$$J_m = 60 \mu\text{m}$$

Como en el caso anterior, no se cumplen los límites, aunque es el ajuste que más se aproxima a los datos dados.

De igual forma que en el caso anterior, si no se pueden aceptar las variaciones de los juegos con respecto a los valores dados, se elegirá un ajuste que tenga el campo de variación comprendido entre los dados. De esta forma el ajuste 70 E7/h7 cumple las condiciones, ya que:

$$JM = 30 + 60 + 30 = 120 \mu\text{m}$$

$$J_m = 60 \mu\text{m}$$

D) Sistema mixto

Es un sistema que puede ser utilizado cuando los ajustes determinados según los sistemas de eje único o agujero único no satisfacen las condiciones impuestas. Las posiciones relativas de las zonas de tolerancia pueden ser varias.

Caso 1 (figura 7.16): las zonas de tolerancia del eje y del agujero están por encima de la línea cero, es decir:

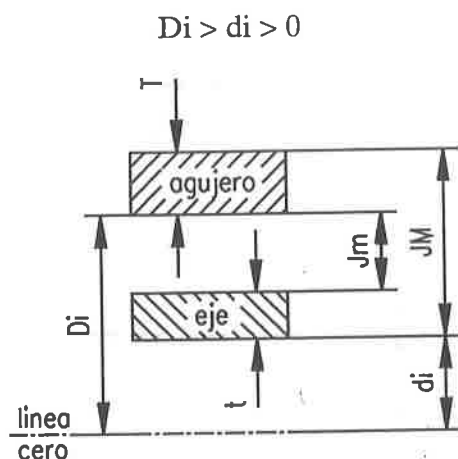


FIGURA 7.16. Caso 1 del sistema mixto.

Para calidades 8 y 7 se deberán cumplir las siguientes condiciones:

$$JM \geq D_m - d_m = (D_i + T) - (d_i), \text{ es decir, } 130 \geq D_i + 46 - d_i$$

$$J_m \leq D_m - dM = (D_i) - (d_i + t), \text{ es decir, } 40 \leq D_i - d_i - 30$$

esto es:

$$84 \geq D_i - d_i \geq 70$$

d_i $d_i > 0$	Condición $84 \geq D_i - d_i \geq 70$	D_i $D_i > d_i$	Ajuste
$k = 2$	$86 \geq D_i \geq 72$		
$m = 11$	$95 \geq D_i \geq 81$		
$n = 20$	$104 \geq D_i \geq 90$	$D=100$	$70 D8/n7$
$p = 32$	$116 \geq D_i \geq 102$		
$r = 43$	$127 \geq D_i \geq 113$		
$s = 59$	$143 \geq D_i \geq 129$		
$t = 75$	$159 \geq D_i \geq 145$	$C=150$	$70 C8/t7$
$u = 102$	$186 \geq D_i \geq 172$		
$v = 120$	$204 \geq D_i \geq 190$	$B=200$	$70 B8/v7$
$x = 146$	$230 \geq D_i \geq 216$		
$y = 174$	$258 \geq D_i \geq 244$		
$z = 210$	$294 \geq D_i \geq 280$		
$za = 274$	$358 \geq D_i \geq 344$		
$zb = 360$	$444 \geq D_i \geq 430$		
$zc = 480$	$564 \geq D_i \geq 550$		

CASO 2 (figura 7.17): las dos zonas de tolerancia están por debajo de la línea cero, por lo tanto:

$$0 > D_i > d_i$$

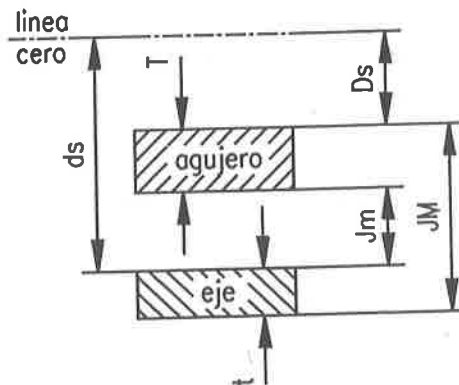


FIGURA 7.17. Caso 2 del sistema mixto.

Para calidades 8 y 7 se deberán cumplir estas condiciones:

$$JM \geq DM - dm = (Ds) - (d_i = ds - t), \text{ es decir, } 130 \geq Ds - ds + 30$$

$$Jm \leq Dm - dM = (D_i = Ds - T) - (ds), \text{ es decir, } 40 \leq Ds - ds - 46$$

esto es:

$$-86 \geq ds - Ds \geq -100$$

Ds Ds < 0	Condición $-86 \geq ds - Ds \geq -100$	ds ds < Ds	Ajuste
N = -4	$-90 \geq ds \geq -104$	d = -100	70 N8/d7
P = -32	$-118 \geq ds \geq -132$		
R = -43	$-129 \geq ds \geq -143$		
S = -59	$-145 \geq ds \geq -159$	c = -150	70 S8/c7
T = -75	$-161 \geq ds \geq -175$		
U = -102	$-188 \geq ds \geq -202$	b = -200	70 U8/b7
V = -120	$-206 \geq ds \geq -220$		
X = -146	$-232 \geq ds \geq -246$		
Y = -174	$-260 \geq ds \geq -274$		
Z = -210	$-296 \geq ds \geq -310$		
ZA = -274	$-360 \geq ds \geq -374$	a = -360	70 ZA8/a7
ZB = -360	$-446 \geq ds \geq -460$		
ZC = -480	$-566 \geq ds \geq -580$		

Caso 3 (figura 7.18): la línea cero corta a la zona de tolerancia del agujero, es decir:

$$0 < Ds < T \quad \text{y} \quad ds < 0$$

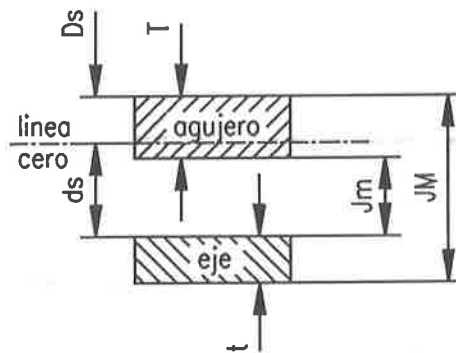


FIGURA 7.18. Caso 3 del sistema mixto.

Para calidades 8 y 7 se deberán cumplir las condiciones:

$$JM \geq DM - dm = (Ds) - (di = ds - t), \text{ es decir, } 130 \geq Ds - ds + 30$$

$$Jm \leq Dm - dM = (Di = Ds - T) - (ds), \text{ es decir, } 40 \leq Ds - ds - 46$$

es decir:

$$-86 \geq ds - Ds \geq -100$$

D_s $0 < D_s < T$	Condición $-86 \geq d_s - D_s \geq -100$	d_s $d_s < 0$	Ajuste
$M = 5$	$-81 \geq d_s \geq -95$		
$K = 14$	$-74 \geq d_s \geq -88$		
$J = 28$	$-58 \geq d_s \geq -72$	$e = -60$	$70 J8/e7$
$J_s = 23$	$-63 \geq d_s \geq -77$		

CASO 4 (figura 7.19): la zona de tolerancia del agujero está por encima de la línea cero pero la zona de tolerancia del eje está por debajo:

$$D_i > 0 \quad \text{y} \quad d_s < 0$$

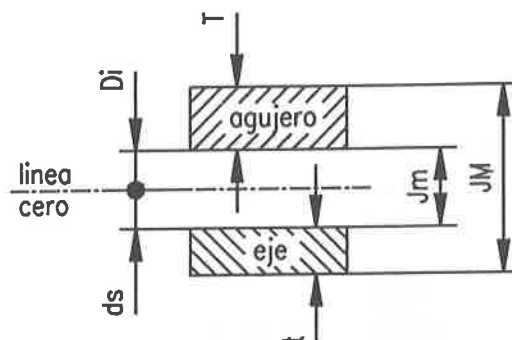


FIGURA 7.19. Caso 4 del sistema mixto.

Para calidades 8 y 7 se deberán cumplir las siguientes condiciones:

$$JM \geq DM - dm = (D_i + T) - (d_i = d_s - t), \text{ es decir, } 130 \geq D_i + 46 - d_s + 30$$

$$Jm \leq Dm - dM = (D_i) - (d_s), \text{ es decir, } 40 \leq D_i - d_s$$

esto es:

$$54 \geq D_i - d_s \geq 40$$

d_s $d_s < 0$	Condición $54 \geq D_i - d_s \geq 40$	D_i $D_i > 0$	Ajuste
$g = -10$	$44 \geq d_s \geq 30$	$F = 30$	$70 F8/g7$
$f = -30$	$14 \geq d_s \geq 10$	$G = 10$	$70 G8/f7$

CASO 5 (figura 7.20): la línea cero corta a la zona de tolerancia del eje:

$$0 > d_i < -t \quad \text{y} \quad D_i > 0$$

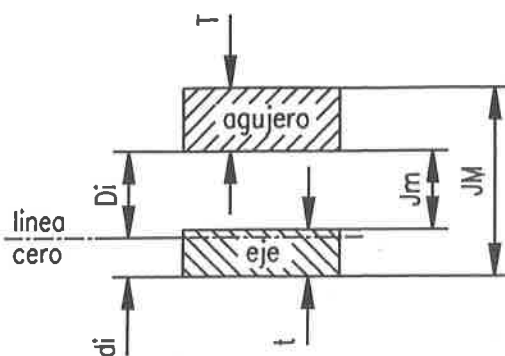


FIGURA 7.20. Caso 5 del sistema mixto.

Para calidades 8 y 7 se deberán cumplir estas condiciones:

$$JM \geq DM - dm = (Di + T) - (di), \text{ es decir, } 130 \geq Di + 46 - di$$

$$Jm \leq Dm - dM = (Di) - (di + t), \text{ es decir, } 40 \leq Di - di - 30$$

en suma:

$$84 \geq Di - di \geq 70$$

di $0 > di < -t$	Condición $84 \geq Di - di \geq 70$	Di $Di > 0$	Ajuste
$js = -15$	$69 \geq ds \geq 55$	$E = 60$	$70 E8/js7$
$i = -12$	$72 \geq ds \geq 58$	$E = 60$	$70 E8/i7$

7.3. Verificación de las tolerancias dimensionales

Una vez terminado un plano constructivo de una pieza, en el que se han especificado tolerancias dimensionales, la pieza está en condiciones de ser fabricada. Una vez construida la pieza, se deberá comprobar que sus dimensiones están comprendidas entre las que se hayan especificado en las tolerancias. Para ello, el departamento de calidad de la fábrica deberá determinar el procedimiento de control de calidad que se va a utilizar y seleccionar unos instrumentos de medida que permitan verificar las dimensiones. Estos instrumentos pueden ser cualquiera de los analizados anteriormente (pie de rey, micrómetro, etc.) de precisión suficiente, aunque con mucha frecuencia se utilizan unos aparatos denominados calibres pasa-no pasa.

Los calibres pasa-no pasa (figura 7.21) están preparados para comprobar una medida a la que se ha especificado una tolerancia. Según la dimensión que se desea comprobar corresponda a una dimensión macho (maciza) o hembra (hueca), el calibre utilizado será el de la figura 7.21a o el de la 7.21b respectivamente. Estos calibres tienen dos orificios (figura 7.21a) o dos salientes (figura 7.21b) con las dimensiones límite en función de la tolerancia especificada.

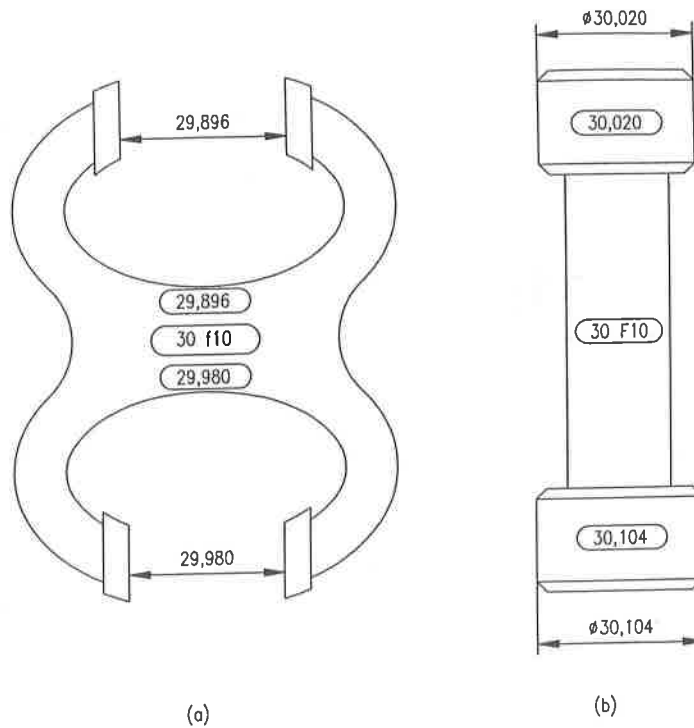


FIGURA 7.21. Calibres pasa-no pasa.

Si la pieza que queremos comprobar tiene la medida comprendida entre los límites especificados por la tolerancia, la pieza entrará en uno de los extremos del calibre (dimensión máxima permitida por el calibre) y no entrará en el otro (dimensión mínima especificada por la tolerancia), según se puede ver en la figura 7.22.

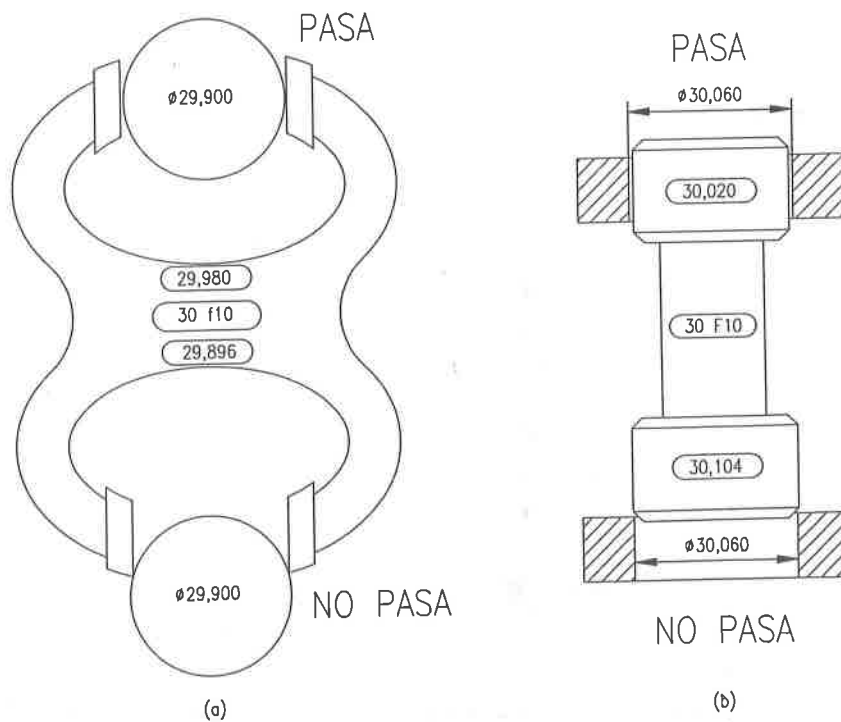


FIGURA 7.22. Comprobación con un calibre pasa-no pasa.

7.4. Tolerancias generales dimensionales

Cuando se construye una pieza, debido a los medios de producción disponible, es necesario asegurar una calidad mínima de fabricación. A esta calidad hacen referencia las *tolerancias generales*.

Esta tolerancia general de la pieza debe quedar definida por el diseñador de tal forma que, si en el taller de trabajo habitual no se alcanza, se puedan enviar las piezas a otro lugar para su mecanizado.

Además de esta tolerancia general, los elementos de la pieza pueden verse afectados de tolerancias dimensionales y/o geométricas específicas de acuerdo con la funcionalidad de la pieza. Estas tolerancias en general serán más estrechas que las proporcionadas habitualmente en el taller.

La norma UNE EN 22768 1:1993, equivale a la ISO 2768 1:1989, que regula este tipo de tolerancias generales.

Quedan excluidos de la aplicación de esta norma los siguientes elementos:

- Dimensiones angulares o lineales reguladas por otras normas.
- Dimensiones auxiliares (indicadas entre paréntesis).
- Dimensiones teóricamente exactas (indicadas dentro de un rectángulo).

Las tolerancias generales para dimensiones lineales son:

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al nominal (en mm)							
Designación	Descripción	0,51 ¹ 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	fin	±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	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

¹ Para valores nominales inferiores a 0,5 mm, las tolerancias han de indicarse siempre junto a la cota nominal correspondiente.

TABLA 7.8. Tolerancias generales para dimensiones lineales, excepto aristas matadas.

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	fin	±0,2	±0,5	±1
m	media			
c	grosera	±0,4	±1	±2
v	muy grosera			

TABLA 7.9. Tolerancias generales para dimensiones de aristas matadas.

Las tolerancias generales para dimensiones angulares solamente limitan la orientación de las superficies pero no sus defectos de forma. Son las que aparecen en la tabla 7.10.

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles en función de la longitud del lado menor del ángulo considerado (en mm)				
Designación	Descripción	Hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400
f	fin	$\pm 1^\circ$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 20'$	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 5'$
m	media					
c	grosera	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 10'$
v	muy grosera	$\pm 3^\circ$	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 20'$

TABLA 7.10. Tolerancias generales para dimensiones angulares.

La utilización de estas tolerancias generales se recomienda ya que:

- Los dibujos son más fáciles de entender y manejar en el taller.
- Para el diseñador resulta muy sencillo determinar la tolerancia general y, a partir de esta, definir sólo los elementos que tengan una tolerancia más estrecha que la general.
- Queda claro que elementos deben fabricarse con más cuidado y atención.
- Es más fácil trabajar con un taller cuya *precisión habitual* es conocida. Ahorra tiempo y dinero en el diseño de la pieza.

En contra partida se obliga al taller habitual a que:

- Conozca su precisión habitual.
- Controle que su precisión no se degrade con el tiempo.
- Acepte trabajos que pueda realizar.

El cuadro de rotulación dispone de una casilla destinada a la tolerancia general que afecta a la pieza. Ahí se debe colocar la referencia a la norma ISO 2768 y una letra *f*, *m*, *c* o *v*, de acuerdo con la tabla 7.8, 7.9 y 7.10 (figura 7.23).

MODIFICACIONES			(IDENTIFICACION)		EDICION	
	Tol.gen.	Escala				
	ISO2768-m	1:1				
		Fecha	Nombre	(RAZON SOCIAL)		Hoja nº
	Dibujad.					
	Compr.					
Sustituye a:				Sustituido por:	Nº hojas	
Plano nº:						

FIGURA 7.23. Cuadro de rotulación con indicación de la tolerancia dimensional general.

Por ejemplo, la anotación ISO 2768-m, se refiere a una tolerancia dimensional general de calidad media.

7.5. Normativa

Para este tema son de aplicación las normas siguientes:

Norma	Título
UNE 1 120 83	Dibujos técnicos. Tolerancias lineales y angulares. Notaciones en los dibujos (equivalente a ISO 406).
UNE 4 026 y UNE 4 040	Sistema ISO de tolerancias y ajustes (equivalente a ISO 286).
UNE 1 149 90	Dibujos técnicos. Principios de tolerancias fundamentales.
EN 22768 1:1993	Tolerancias generales. Parte 1: tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia.

7.6. Once problemas resueltos

PROBLEMA 1

Indicar tipo de ajuste y calcular desviaciones, diámetro superior e inferior, tolerancias, diferencias fundamentales y juegos o aprietos límites de las siguientes expresiones ISO:

- a) 180 E7/m7 b) 70 U9/f7 c) 40 M7/h6 d) 70 H6/j5
 e) 80 H8/h8 f) 120 J8/t8 g) 60 N7/h6 h) 95 Js7/js7

SOLUCIONES

Ejercicio: 1a

Agujero: $T = 0,040$

$D_i = +0,085$

$D_s = 0,040 + 0,085 = +0,125$

$DM = 180,125$

$D_m = 180,085$

Ajuste: 180 E7/m7

Eje: $t = 0,040$

$d_i = +0,015$

$d_s = 0,040 + 0,015 = 0,055$

$dM = 180,055$

$d_m = 180,015$

Tipo de ajuste: juego

$TJ: 0,040 + 0,040 = 0,080$

$JM: 0,125 - 0,015 = 0,110$

$Jm: 0,085 - 0,055 = 0,030$

Ejercicio: 1b

Agujero: $T = 0,074$

$D_i = -0,102 - 0,074 = -0,176$

$D_s = -0,102$

$DM = 69,898$

$D_m = 69,824$

Ajuste: 70 U9/f7

Eje: $t = 0,030$

$d_i = -0,030 - 0,030 = -0,060$

$d_s = -0,030$

$dM = 70 - 0,03 = 69,970$

$d_m = 70 - 0,06 = 69,940$

Tipo de ajuste: aprieto

$TA: 0,030 + 0,074 = 0,104$

$AM: 69,97 - 69,824 = 0,146$

$Am: 69,94 - 69,898 = 0,042$

Ejercicio: 1c

Agujero: $T = 0,025$
 $Di = 0 - 0,025 = -0,025$
 $Ds = 0$
 $DM = 40,000$
 $Dm = 40 - 0,025 = 39,975$

Ajuste: 40 M7/h6

Eje: $t = 0,016$
 $di = 0 - 0,016$
 $ds = 0$
 $dM = 40 + 0 = 40$
 $dm = 40 - 0,016 = 39,984$

Tipo de ajuste: indeterminado
 $TI: 0,016 + 0,025 = 0,041$
 $JM: 40, - 39,984 = 0,016$
 $AM: 40 - 39,975 = 0,025$

Ejercicio: 1d

Agujero: $T = 0,019$
 $Di = 0$
 $Ds = 0 + 0,019 = 0,019$
 $DM = 70,019$
 $Dm = 70,000$

Ajuste: 70 H6/j5

Eje: $t = 0,013$
 $di = -0,007$
 $ds = -0,007 + 0,013 = 0,006$
 $dM = 70,006$
 $dm = 69,993$

Tipo de ajuste: indeterminado
 $TI: 0,019 + 0,013 = 0,032$
 $JM: 70,019 - 69,993 = 0,026$
 $AM: 70,006 - 70 = 0,006$

Ejercicio: 1e

Agujero: $T = 0,046$
 $Di = 0$
 $Ds = 0,046$
 $DM = 80,046$
 $Dm = 80,000$

Ajuste: 80 H8/h8

Eje: $t = 0,046$
 $di = -0,046$
 $ds = 0$
 $dM = 80,000$
 $dm = 79,954$

Tipo de ajuste: juego
 $TJ: 0,092$
 $JM: 0,092$
 $Jm: 0$

Ejercicio: 1f

Agujero: $T = 0,054$
 $Di = 0,034 - 0,054 = -0,02$
 $Ds = 0,034$
 $DM = 120,034$
 $Dm = 119,980$

Ajuste: 120 J8/t8

Eje: $t = 0,054$
 $di = 0,104$
 $ds = 0,158$
 $dM = 120,158$
 $dm = 120,104$

Tipo de ajuste: aprieto
 $TA: 0,108$
 $AM: 120,158 - 119,980 = 0,178$
 $Am: 120,104 - 120,034 = 0,070$

Ejercicio: 1g

Agujero: $T = 0,030$

$D_i = -0,039$

$D_s = -0,009$

$DM = 59,991$

$D_m = 59,961$

Ajuste: 60 N7/h6

Eje: $t = 0,019$

$d_i = -0,019$

$d_s = 0$

$dM = 60,000$

$d_m = 59,981$

Tipo de ajuste: indeterminado

TI: 0,049

JM: 0,010

AM: 0,039

Ejercicio: 1h

Agujero: $T = 0,035$

$D_i = -0,035/2 = -0,017$

$D_s = 0,035/2 = 0,017$

$DM = 95,017$

$D_m = 94,983$

Ajuste: 95 Js7/js7

Eje: $t = 0,035$

$d_i = -0,017$

$d_s = 0,017$

$dM = 95,017$

$d_m = 94,983$

Tipo de ajuste: indeterminado

TI: 0,070

JM: 0,035

AM: 0,035

PROBLEMA 2

Dado el ajuste 46 E11/f10, se pide:

- 1) Calcular las características del ajuste.
- 2) Determinar el tipo de ajuste y hacer el esquema correspondiente.

SOLUCIÓN

En primer lugar se calculan los parámetros característicos del agujero.

De la tabla I, se determina el valor correspondiente a un IT 11 y a un diámetro de 46 mm:

$$T (IT 11) = 160 \mu m$$

Se toma de la tabla III, entrando con el diámetro $DN = 46$ y con la posición de la tolerancia E, el valor de la diferencia fundamental, que en este caso corresponde a la diferencia inferior D_i :

$$D_i = 50 \mu m$$

La diferencia superior D_s será:

$$D_s = D_i + T = 160 + 50 = 210 \mu m$$

Se calculan a continuación los diámetros límites de los agujeros.

$$D_m = D_N + D_i = 46 + 0,050 = 46,050 \text{ mm.}$$

$$D_M = D_N + D_s = D_N + D_i + T = 46 + 0,210 = 46,210 \text{ mm.}$$

Seguidamente se calculan las características del eje.

De la tabla I, se consigue el valor de la tolerancia IT10 del eje.

$$t (IT10) = 100 \text{ } \mu\text{m}$$

La diferencia fundamental del eje se localiza en la tabla II, entrando con $D_N = 46$ y la posición de la tolerancia f, se obtiene la diferencia superior d_s :

$$d_s = -25 \text{ } \mu\text{m}$$

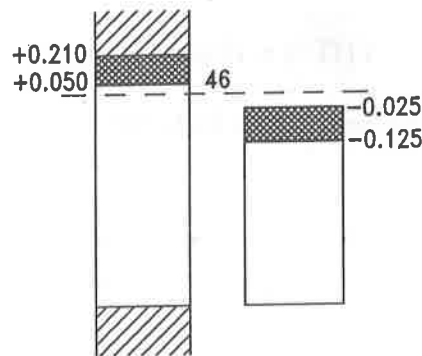
$$d_i = d_s - IT10 = -25 - 100 = -125 \text{ } \mu\text{m}$$

Los diámetros límites del eje:

$$d_M = D_N + d_s = 46 + (-0,025) = 45,975 \text{ mm}$$

$$d_m = D_N + d_i = 46 + (-0,125) = 45,875 \text{ mm}$$

El esquema será el correspondiente a un *ajuste con juego*.



La tolerancia del juego y el juego máximo y mínimo serán:

$$T_J = J_M - J_m = T + t = 160 + 100 = 260 \text{ } \mu\text{m}$$

$$J_M = D_M - d_m = 46,210 - 45,875 = 0,335 \text{ mm}$$

$$J_m = D_m - d_M = 46,050 - 45,975 = 0,075 \text{ mm}$$

PROBLEMA 3

Dado el ajuste 175 B7/e5, se pide:

- 1) Calcular las características del ajuste.
- 2) Determinar el tipo de ajuste y hacer el esquema correspondiente.

SOLUCIÓN

En primer lugar se calculan los parámetros característicos del agujero.

De la tabla I, se determina el valor correspondiente a un IT7 y a un diámetro de 175 mm:

$$T (IT7) = 40 \mu m$$

De la tabla III, entrando con el diámetro $DN = 175$ y con la posición de la tolerancia B, se obtiene el valor de la diferencia fundamental, que en este caso corresponde a la diferencia inferior Di :

$$Di = 310 \mu m$$

La diferencia superior Ds será:

$$Ds = Di + T = 310 + 40 = 350 \mu m$$

Calculemos ahora los diámetros límites de los agujeros.

$$\begin{aligned} Dm &= DN + Di = 175 + 0,310 = 175,310 \text{ mm} \\ DM &= DN + Ds = DN + Di + T = 175 + 0,350 = 175,350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Seguidamente se calculan las características del eje. De la tabla I, se consigue el valor de la tolerancia IT5 del eje.

$$t (IT5) = 18 \mu m$$

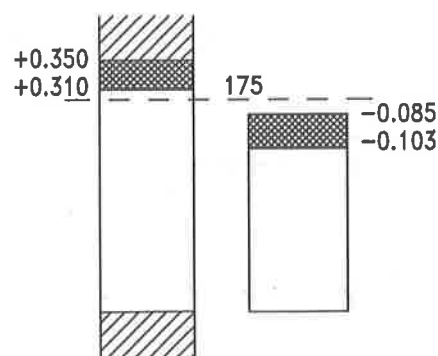
La diferencia fundamental del eje se localiza en la tabla II, entrando con $DN = 175$ y la posición de la tolerancia e, siendo ésta la diferencia superior ds :

$$\begin{aligned} ds &= -85 \mu m \\ di &= ds - t = -85 - 18 = -103 \mu m \end{aligned}$$

Los diámetros límites del eje:

$$\begin{aligned} dM &= DN + ds = 175 + (-0,103) = 174,897 \text{ mm} \\ dm &= DN + di = 175 + (-0,103) = 174,915 \text{ mm} \end{aligned}$$

El esquema será el correspondiente a un ajuste con juego.



La tolerancia del juego y el juego máximo y mínimo serán:

$$\begin{aligned} TJ &= JM - Jm = T + t = 40 + 18 = 58 \mu\text{m} \\ JM &= DM - dm = 175,350 - 174,897 = 0,453 \text{ mm} \\ Jm &= Dm - dM = 175,310 - 174,915 = 0,395 \text{ mm} \end{aligned}$$

PROBLEMA 4

Dado el ajuste 29 E9/v7, se pide:

- 1) Calcular las características del ajuste.
- 2) Definir el tipo de ajuste y el esquema correspondiente.

SOLUCIÓN

Primeramente se deben calcular los parámetros característicos del agujero.
De la tabla I, se determina el valor correspondiente a un IT 9 y a un diámetro de 29 mm:

$$T (\text{IT } 9) = 52 \mu\text{m}$$

A continuación, y entrando con el diámetro $DN = 29$ y con la posición de la tolerancia E, se obtiene de la tabla III el valor de la diferencia fundamental, que en este caso corresponde a la diferencia inferior Di :

$$Di = 40 \mu\text{m}$$

La diferencia superior Ds será:

$$Ds = Di + T = 40 + 52 = 92 \mu\text{m}$$

Calculamos ahora los diámetros límites de los agujeros.

$$\begin{aligned} Dm &= DN + Di = 29 + 0,40 = 29,040 \text{ mm} \\ DM &= DN + Ds = DN + Di + T = 29 + 0,092 = 29,092 \text{ mm} \end{aligned}$$

Seguidamente se calculan las características del eje.
De la tabla I, se consigue el valor de la tolerancia IT7 del eje.

$$t (\text{IT } 7) = 21 \mu\text{m}$$

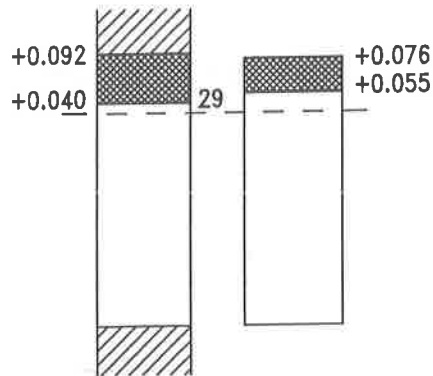
La diferencia fundamental correspondiente al eje se localiza en la tabla II, entrando con $DN = 29$ y la posición de la tolerancia v, que en este caso corresponde a la diferencia inferior di :

$$\begin{aligned} di &= 55 \mu\text{m} \\ ds &= di + t = 55 + 21 = 76 \mu\text{m} \end{aligned}$$

Los diámetros límites del eje:

$$\begin{aligned} dM &= DN + ds = 175 + 0,076 = 29,076 \text{ mm} \\ dm &= DN + di = 175 + 0,055 = 29,055 \text{ mm} \end{aligned}$$

El esquema será el correspondiente a un *ajuste indeterminado*.



La tolerancia del ajuste indeterminado, el apriete máximo y el juego máximo serán:

$$\begin{aligned} TI &= T + t = 52 + 21 = 73 \text{ } \mu\text{m} \\ JM &= DM - dm = 29,092 - 29,055 = 0,037 \text{ mm} \\ Am &= dM - Dm = 29,076 - 29,040 = 0,036 \text{ mm} \end{aligned}$$

PROBLEMA 5

Dado el ajuste 126 H7/s6, se pide:

- 1) Calcular las características del ajuste.
- 2) Determinar el tipo de ajuste y hacer el esquema correspondiente.

SOLUCIÓN

En primer lugar se calculan los parámetros característicos del agujero.
De la tabla I, se determina el valor correspondiente a un IT 7 y a un diámetro de 126 mm:

$$T (IT7) = 40 \text{ } \mu\text{m}$$

Entrando con el diámetro $DN = 126$ y con la posición de la tolerancia H, obtenemos de la tabla III el valor de la diferencia fundamental, que en este caso corresponde a la diferencia inferior Di :

$$Di = 0 \text{ } \mu\text{m}$$

La diferencia superior Ds será:

$$Ds = Di + T = 0 + 40 = 40 \text{ } \mu\text{m}$$

Se calculan los diámetros límites de los agujeros.

$$D_m = D_N + D_i = 126 + 0 = 126 \text{ mm}$$

$$D_M = D_N + D_s = D_N + D_i + T = 126 + 0.040 = 126,040 \text{ mm}$$

A continuación se calculan las características del eje.
De la tabla I, se consigue el valor de la tolerancia IT6 del eje.

$$t (\text{IT6}) = 25 \text{ } \mu\text{m}$$

La diferencia fundamental del eje se localiza en la tabla II, entrando con $D_N = 126$ y la posición de la tolerancia s, siendo ésta la diferencia inferior di:

$$d_i = 92 \text{ } \mu\text{m}$$

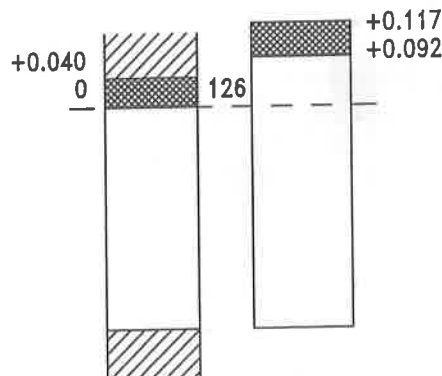
$$d_s = d_i + t = 92 + 25 = 117 \text{ } \mu\text{m}$$

Los diámetros límites del eje serán, por lo tanto:

$$d_M = D_N + d_s = 126 + 0,117 = 126,117 \text{ mm}$$

$$d_m = D_N + d_i = 126 + 0,092 = 126,092 \text{ mm}$$

El esquema será el correspondiente a un *ajuste con aprieto*.



La tolerancia del aprieto y del aprieto máximo y mínimo serán:

$$T_A = A_M - A_m = T + t = 40 + 25 = 65 \text{ } \mu\text{m}$$

$$A_M = d_M - D_m = 126,117 - 126 = 0,117 \text{ mm}$$

$$A_m = D_M - d_m = 126,040 - 126,092 = 0,052 \text{ mm}$$

PROBLEMA 6

En un ajuste móvil con elementos interior y exterior de diámetros nominales 150 mm se sabe que el juego debe estar comprendido entre 150 μm y 40 μm . Calcular las dimensiones normalizadas del ajuste ISO correspondiente, en los sistemas de agujero base y de eje base.

SOLUCIÓN

Los datos del problema son:

$$\begin{aligned} D &= 150 \text{ mm} \\ JM &= 150 \text{ } \mu\text{m} \\ Jm &= 40 \text{ } \mu\text{m} \end{aligned}$$

La tolerancia del juego será:

$$TJ = 150 - 40 = 110$$

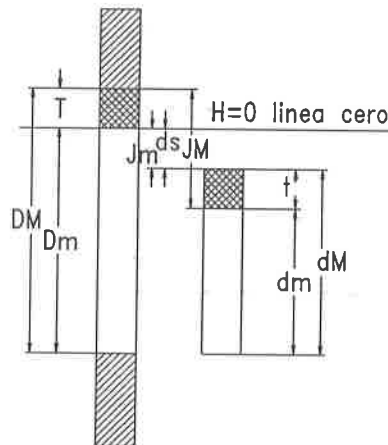
Las calidades posibles para el agujero y el eje compatibles con el ajuste ($D=150$) serán:

Agujero: IT8 = 63

Eje: IT7 = 40

AGUJERO BASE

El ajuste elegido será H8/_7.



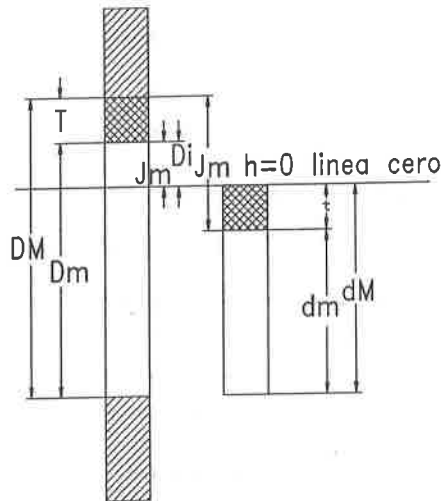
$$\begin{aligned} JM = 150 &\geq Ds - di = T - (ds - t) = 74 - ds + 30 && \text{de donde } ds \geq -46 \\ Jm = 40 &\leq Di - ds = 0 - ds && \text{de donde } ds \leq -40 \end{aligned}$$

Para la posición f del eje se tiene $ds = -43$, por lo que el ajuste será 150 H8/f7, de donde:

Elemento	ISO	T/t (μm)	Di/di (μm)	Ds/ds (μm)	Dm/dm (mm)	DM/dM (mm)
Agujero	150 H8	63	0	63	150	150,063
Eje	150 f7	40	-43 -40 = -83	-43	149,917	149,957

TJ (μm)	Jm (μm)	JM (μm)
40+63=103	43>40	146<150

EJE BASE

El ajuste elegido será $_8/h7$.

$$JM = 150 \geq D_s - d_i = D_i + T - (d_s - t) = D_i + 74 - 0 + 30 \quad \text{de donde} \quad D_i \leq 46$$

$$Jm = 40 \leq D_i - d_s = D_i - 0 \quad \text{de donde} \quad D_i \geq 40$$

Para la posición F del agujero tenemos que $D_i = 43$, por lo que el ajuste será $150 F8/h7$, de donde:

Elemento	ISO	T/t (μm)	D_i/d_i (μm)	D_s/d_s (μm)	D_m/d_m (mm)	DM/dM (mm)
Agujero	150 F8	63	43	$43+63=106$	150,043	150.106
Eje	150 h7	40	-40	0	149,96	150

TJ (μm)	Jm (μm)	JM (μm)
$40+63=103$	$43>40$	$146<150$

PROBLEMA 7

Para una dimensión nominal 100 se pretende conseguir un ajuste indeterminado normalizado, tal que el juego sea como máximo $100 \mu\text{m}$ y el aprieto sea como máximo $100 \mu\text{m}$. Calcular, dibujar el croquis y determinar las diferencias, las dimensiones límites y las tolerancias en el sistema de agujero base y en el de eje base.

SOLUCIÓN

Los datos del problema son:

$$D = 100 \text{ mm}$$

$$JM = 100 \mu\text{m}$$

$$AM = 100 \mu\text{m}$$

La tolerancia del Ajuste indeterminado será:

$$TI = 100 + 100 = 200$$

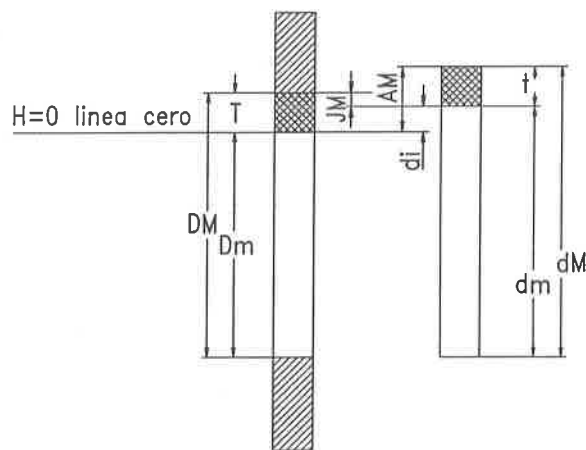
Las calidades posibles para el agujero y eje compatibles con el ajuste ($D = 100$) serán:

Agujero: IT9 = 87

Eje: IT9 = 87

AGUJERO BASE

El ajuste elegido será H9/_9.



$$JM = 100 \geq D_s - d_i = T - d_i = 87 - d_i \quad \text{de donde} \quad d_i \geq -13$$

$$AM = 100 \geq d_s - D_i = d_i + t - D_i = d_i + 87 - 0 \quad \text{de donde} \quad d_i \leq 13$$

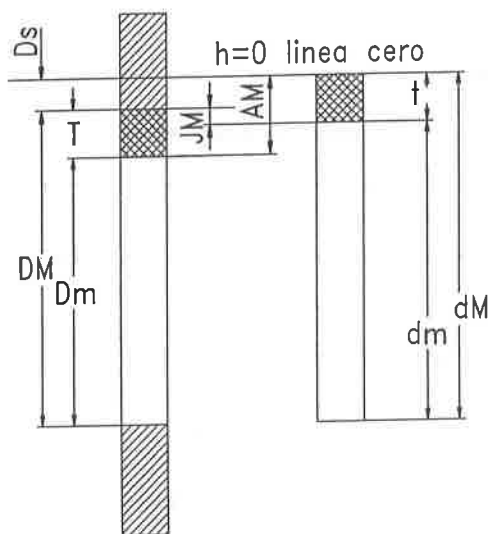
Se deberá cumplir que $-13 \leq d_i \leq 13$, así que se tomará la posición $m = +13$ por lo que el ajuste será 100 H9/m9, de donde:

Elemento	ISO	T/t (μm)	D_i/d_i (μm)	D_s/d_s (μm)	D_m/d_m (mm)	DM/dM (mm)
Agujero	100 H9	87	0	87	100,000	100,087
Eje	100 m9	87	13	100	100,013	100,100

TI (μm)	JM (μm)	AM (μm)
174	74	100

EJE BASE

El ajuste elegido será $_9/h9$.



$$JM = 100 \geq Ds - di = Ds - (ds - t) = Ds - 0 + 87 \quad \text{de donde } Ds \leq 13$$

$$AM = 100 \geq ds - Di = ds - (Ds - T) = 0 - Ds + 87 \quad \text{de donde } Ds \geq -13$$

Se deberá cumplir que $-13 \leq Ds \leq 13$, por lo que se tendrán las posiciones $M=-13$ y $N=0$ de modo que el ajuste será $100 M9/h9$ o $100 N9/h9$, de donde:

Elemento	ISO	T/t (μm)	Di/di (μm)	Ds/ds (μm)	Dm/dm (mm)	DM/dM (mm)
Agujero	100 M9	87	-100	-13	99,900	99,987
Eje	100 h9	87	-87	0	99,913	100,000

Tl (μm)	JM (μm)	AM (μm)
174	74	100

Elemento	ISO	T/t (μm)	Di/di (μm)	Ds/ds (μm)	Dm/dm (mm)	DM/dM (mm)
Agujero	100 N9	87	-870	0	99,913	100,000
Eje	100 h9	87	-87	0	99,913	100,000

Tl (μm)	JM (μm)	AM (μm)
174	87	87

PROBLEMA 8

Dado un ajuste fijo o con aprieto de $DN = 70 \text{ mm}$, con $AM = 130 \mu\text{m}$ y $Am = 50 \mu\text{m}$, determinar las posibles expresiones ISO del ajuste en el sistema de eje único. Representar también los croquis de cada ajuste.

SOLUCIÓN

$$TA = AM - Am = 130 - 50 = 80 \mu\text{m}$$

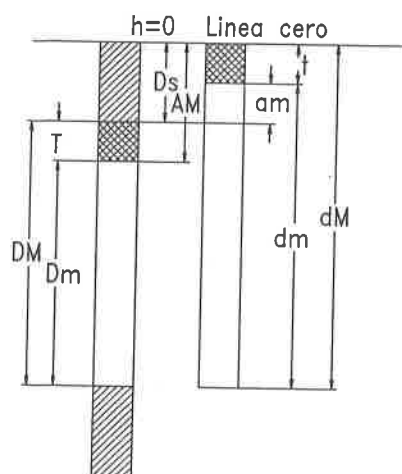
$$TA = T + t$$

Para eje único, según la tabla II:

$$80 \geq 46 + 30 = IT8 + IT7$$

$$80 \geq 46 + 19 = IT8 + IT6$$

$$80 \geq 30 + 30 = IT7 + IT7$$



Condiciones:

$$Am = 50 \leq di - Ds = (ds - t) - Ds = 0 - t - Ds$$

$$AM = 130 \geq ds - Di = ds - (Ds - T) = 0 - Ds + T$$

de donde:

$$T - 130 \leq Ds \leq -50 - t$$

PRIMER CASO

Para $IT8 + IT7$ se tendrá un ajuste $70 \text{ } \frac{H8}{h7}$ donde $T = 46$ y $t = 30$, con lo cual:

$$46 - 130 \leq Ds \leq -50 - 30$$

es decir:

$$-84 \leq D_s \leq -80$$

Según la tabla III, no hay ninguna posición de tolerancia que cumpla. La más cercana es $T = -75$, aunque sobrepasa ligeramente el límite superior.

SEGUNDO CASO

Para IT8 + IT6 se tendrá un ajuste 70 78/h6:

$$46 - 130 \leq D_s \leq -50 - 19$$

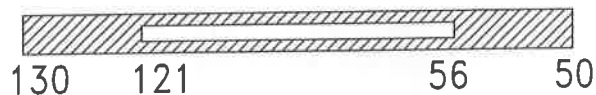
es decir:

$$-84 \leq D_s \leq -69$$

Según la tabla III se tendrá la posición T, con $D_s = -75$, de donde

$$DM = 69,925 \quad dM = 70,000 \quad AM = 0,121$$

$$Dm = 69,879 \quad dm = 69,981 \quad Am = 0,056$$



TERCER CASO

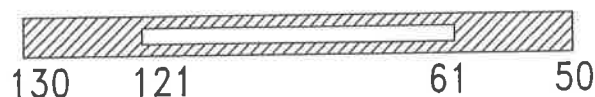
Para IT7 + IT7 se tendrá el ajuste 70 77/h7:

$$30 - 130 \leq D_s \leq -50 - 30, \text{ es decir, } -100 \leq D_s \leq -80$$

Según la tabla III, se tendrá la posición U con $D_s = -91$, por lo que:

$$DM = 69,909 \quad dM = 70,000 \quad AM = 0,121$$

$$Dm = 69,879 \quad dm = 69,970 \quad Am = 0,061$$



RESULTADO

Si se exige que el ajuste esté comprendido entre los máximos y mínimos establecidos en el enunciado, se podrán usar los ajustes: 70 T8/h6 ó 70 U7/h7.

Ni $U7$ ni $T8$ son zonas de tolerancia preferentes; $h6$ y $h7$ son las dos zonas de tolerancia preferente, por lo que teniendo en cuenta este criterio no hay preferencia entre un ajuste u otro. En principio, sería deseable el ajuste $70 T8/h6$, que tiene un margen de apriete máximo y mínimo más amplio que el $70 U7/h7$.

PROBLEMA 9

Entre un eje cilíndrico y el agujero correspondiente al mismo existe la siguiente relación: $DN = 70\text{mm}$, $JM = 220\mu\text{m}$, $Jm = 100\mu\text{m}$. Determinar el ajuste normalizado utilizando para ello el método de agujero único.

SOLUCIÓN

Se trata de un ajuste con juego o ajuste móvil.

$$TJ = JM - Jm = 220 - 100 = 120\mu\text{m}$$

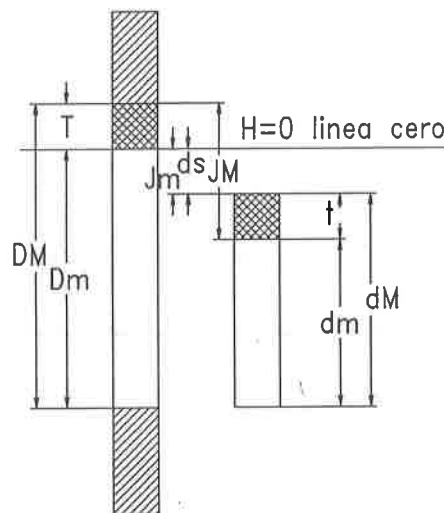
$$TJ = T + t$$

Para el sistema de agujero único, según la tabla I:

$$120 \geq 74 + 46 \text{ (IT9 + IT8)}$$

$$120 \geq 74 + 30 \text{ (IT9 + IT7)}$$

$$120 \geq 46 + 46 \text{ (IT8 + IT8)}$$



Condiciones:

$$Jm = 100 \leq Di - ds = 0 - ds$$

$$JM = 220 \geq Ds - di = Di + T - (ds - t) = 0 + T - ds + t$$

de donde:

$$-220 + T + t \leq ds \leq -100$$

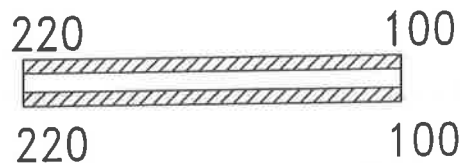
PRIMER CASO

Para IT9 + IT8, se tendrá un ajuste 70 H9/d8 con $T = 74$ y $t = 46$; de donde:

$$\begin{aligned} -220 + T + t &\leq ds \leq -100 \\ -220 + 74 + 46 &\leq ds \leq -100 \\ -100 &\leq ds \leq -100 \end{aligned}$$

Según la tabla II; $ds = -0,100$ para la posición "d", por lo que

$$\begin{array}{lll} DM = 70,074 & dM = 69,900 & JM = 0,220 \\ Dm = 70,000 & dm = 69,854 & Jm = 0,100 \end{array}$$



Como la solución hallada, 70 H9/d8, contiene los índices de tolerancia mayores dentro de los posibles, ésta es la mejor. Además, tanto H9 como d8 son zonas de tolerancia preferentes.

PROBLEMA 10

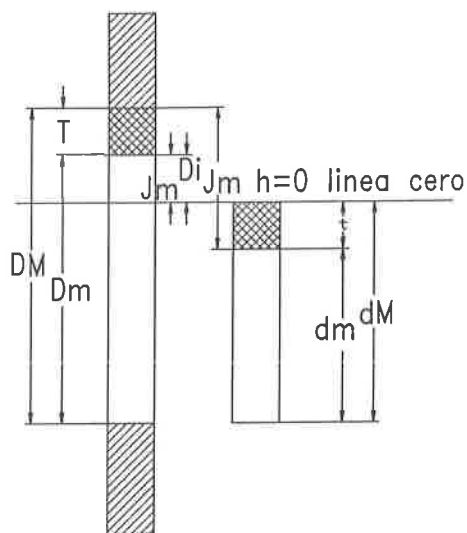
Dado el ajuste móvil de características: $DN = 70$ mm, $JM = 130$ μ m y $Jm = 50$ μ m, determinar la expresión de los posibles ajustes ISO utilizando el sistema de eje único, justificando asimismo cuál es la mejor elección.

SOLUCIÓN

$$\begin{aligned} TJ &= JM - Jm = 80 \mu\text{m} \\ TJ &= T + t \end{aligned}$$

Según la tabla I tenemos:

$$\begin{aligned} 80 &\geq 46 + 30 \text{ (IT8 + IT7)} \\ 80 &\geq 46 + 19 \text{ (IT8 + IT6)} \\ 80 &\geq 30 + 30 \text{ (IT7 + IT7)} \end{aligned}$$



Condiciones:

$$J_m = 50 \leq D_i - d_s = D_i - 0$$

$$J_M = 130 \geq D_s - d_i = D_i + T - (d_s - t) = D_i + T - 0 + t$$

de donde:

$$50 \leq D_i \leq 130 - T - t$$

PRIMER CASO

Para $80 \geq 46 + 30 = IT_8 + IT_7$ se tendrá un ajuste 70 $\frac{7}{8}/h7$, de donde:

$$50 \leq D_i \leq 130 - T - t$$

$$50 \leq D_i \leq 130 - 46 - 30$$

de donde

$$50 \leq D_i \leq 54$$

Según la tabla III, no hay ninguna letra indicadora de la posición de la zona de tolerancia que cumpla. La más próxima es la posición E = +60. El ajuste entonces sería 70 $E8/h7$, aunque sobrepasaría ligeramente el juego máximo

$$D_M = 70,104 \text{ mm} \quad d_M = 70,000 \text{ mm} \quad J_M = 0,120 \text{ mm}$$

$$D_m = 70,060 \text{ mm} \quad d_m = 69,970 \text{ mm} \quad J_m = 0,134 \text{ mm}$$

SEGUNDO CASO

Para $80 \geq 46+19 = IT8 + IT6$ se tendrá un ajuste 70 78/h6:

$$50 \leq Di \leq 130 - T - t$$

$$50 \leq Di \leq 130 - 46 - 19$$

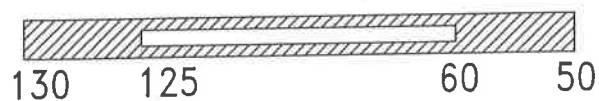
de donde:

$$50 \leq Di \leq 65$$

Según la tabla III, se tendrá la posición E con $Di = +0,060$, por lo que:

$$DM = 70,106 \text{ mm} \quad dM = 70,000 \text{ mm} \quad JM = 0,125 \text{ mm}$$

$$Dm = 70,060 \text{ mm} \quad dm = 69,981 \text{ mm} \quad Jm = 0,060 \text{ mm}$$



y el ajuste entonces sería 70 E8/h6.

TERCER CASO

Para $80 \geq 30+30 = IT7 + IT7$ se tendrá un ajuste 70 77/h7:

$$50 \leq Di \leq 130 - T - t$$

$$50 \leq Di \leq 130 - 30 - 30$$

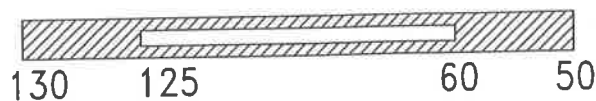
de donde

$$50 \leq Di \leq 70$$

Según la tabla III se tendrá la posición E con $Di = +0,060$

$$DM = 70,090 \text{ mm} \quad dM = 70,000 \text{ mm} \quad JM = 0,120 \text{ mm}$$

$$Dm = 70,060 \text{ mm} \quad dm = 69,970 \text{ mm} \quad Jm = 0,060 \text{ mm}$$



y el ajuste sería 70 E8/h7.

RESULTADO

Si se deben respetar estrictamente los límites se podrán elegir entre los ajustes $70\ E8/h6$ ó $70\ E7/h7$. Las posiciones $h6$ y $h7$ son posiciones de tolerancias preferentes. La posición $E8$ es preferente y la $E7$ no, por lo que el ajuste más adecuado que se puede seleccionar es el $70\ E8/h6$.

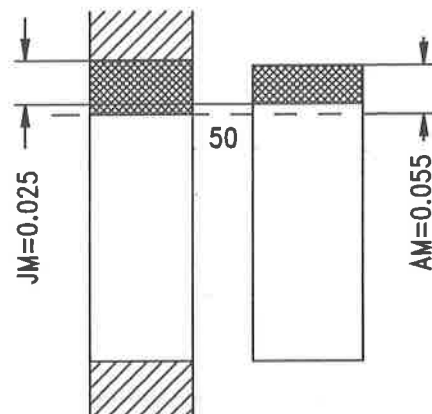
Si se permite que se pasen ligeramente los límites establecidos de juego máximo y mínimo, el ajuste $70\ E8/h7$ se debería considerar también. Para este ajuste, tanto $E8$ como $h7$ son zonas preferentes, por lo que entre $70\ E8/h7$ y $70\ E8/h6$ se elige $70\ E8/h7$ por tener índices de calidad mayores.

PROBLEMA 11

Se quiere hallar el ajuste entre dos piezas, cuya cota nominal es de 50 mm, de tal manera que el juego máximo sea de $25\ \mu\text{m}$ y el aprieto máximo de $55\ \mu\text{m}$, para el caso de agujero único.

Dibujar un esquema del ajuste, razonando las posibles soluciones, los diámetros máximos y mínimos.

SOLUCIÓN



Es un caso de ajuste indeterminado.

El juego máximo es $25\ \mu\text{m}$. El apriete máximo es $55\ \mu\text{m}$.

La tolerancia del ajuste indeterminado será:

$$TI = T + t = 55 + 25 = 80\ \mu\text{m}$$

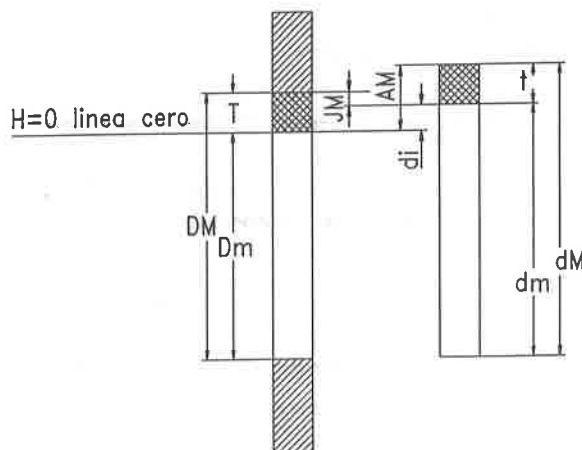
Como se trata de agujero único, la posición de la tolerancia del agujero es la H .

Según la tabla I, valores numéricos de las tolerancias fundamentales en micras, entrando con un diámetro nominal $DN = 50 \text{ mm}$, las combinaciones de tolerancias para obtener un $TI = 80 \text{ }\mu\text{m}$ pueden ser las siguientes:

$$IT8 + IT8 = 39 + 39 = 78 \text{ }\mu\text{m}$$

$$IT8 + IT7 = 39 + 25 = 64 \text{ }\mu\text{m}$$

El agujero, por ser el sistema de ajuste de agujero único, tiene un valor de $70 H$, quedando por determinar su calidad, la calidad del eje y la posición de la tolerancia del eje.



$$\begin{aligned} JM = 25 &\geq D_s - d_i = T - d_i = 87 - d_i && \text{de donde} && d_i \geq T - 25 \\ AM = 55 &\geq d_s - D_i = d_i + t - D_i = d_i + t - 0 && \text{de donde} && d_i \leq 55 - t \end{aligned}$$

Se deberá cumplir que $T - 25 \leq d_i \leq 55 - t$.

PRIMER CASO

Se supone correcta la hipótesis: $IT8 + IT8 = 39 + 39 \text{ }\mu\text{m}$, por lo que el ajuste será $50 H8/77$. Para que se cumplan las condiciones del ajuste se deberá cumplir lo siguiente:

$$39 - 25 \leq d_i \leq 55 - 39$$

es decir:

$$14 \leq d_i \leq 16$$

Según la tabla II, no existe ninguna diferencia que esté entre $14 \text{ }\mu\text{m}$ y $16 \text{ }\mu\text{m}$, luego no es una hipótesis correcta.

SEGUNDO CASO

Se supone:

$$IT8 + IT7 = 39 + 25$$

Se deberá cumplir que:

$$39 - 25 \leq d_i \leq 55 - 25$$

es decir:

$$14 \leq d_i \leq 30$$

De la tabla II, se obtiene que la posición n tiene una $d_i = 17$ y la posición p con una $d_i = 26$, posiciones dentro de los límites señalados.

Supuesta la posición de la tolerancia del eje igual a n .

De la tabla II, para n se tiene una diferencia inferior $d_i = 17 \mu\text{m}$.

A continuación se calcula:

$$DM = 50 + IT_8 = 50 + 0,039 = 50,039 \text{ mm}$$

$$D_m = 50 + 0,000 = 50,000 \text{ mm}$$

$$dM = 50 + d_i + T = 50 + 0,017 + 0,025 = 50,042 \text{ mm}$$

$$d_m = 50 + d_i = 50 + 0,017 = 50,017 \text{ mm}$$

Calculando el juego máximo y el apriete máximo:

$$JM = DM - d_m = 50,039 - 50,017 = 0,022 \text{ mm} < 25 \mu\text{m}$$

$$AM = dM - D_m = 50,042 - 50 = 0,042 \text{ mm} < 55 \mu\text{m}$$

Esta suposición es válida. El ajuste final quedaría $50 H8/n7$.

Supuesta la posición de la tolerancia del eje igual a p .

Se supone que $50 H8/p7$ es correcto.

De la tabla II se obtiene una $d_i = 0,026 \text{ mm}$ para un $DN = 50 \text{ mm}$.

A continuación se calcula:

$$DM = 50 + IT_8 = 50 + 0,039 = 50,039 \text{ mm}$$

$$D_m = 50 + 0,000 = 50,000 \text{ mm}$$

$$dM = 50 + d_i = 50 + 0,026 = 50,026 \text{ mm}$$

$$d_m = 50 + d_i + IT_8 = 50 + 0,026 + 0,039 = 50,051 \text{ mm}$$

Calculando el juego máximo y el apriete máximo:

$$JM = DM - d_m = 50,039 - 50,026 = 0,013 \text{ mm} < 25 \mu\text{m}$$

$$AM = dM - D_m = 50,026 - 50 = 0,026 \text{ mm} < 55 \mu\text{m}$$

Por lo que la suposición es correcta y queda el ajuste $50 H8/p7$.

De las dos posibilidades, $50 H8/n7$ y $H8/p7$, las posiciones $H8$, $n7$ y $p7$ son posiciones preferentes. Así pues, si no se puede elegir en función de las zonas preferentes, se elegiría en función de la tolerancia del ajuste, pero como los dos tienen la misma tolerancia (los dos tienen índices 8 y 7), se podrá elegir indistintamente uno u otro.