

AJUSTES

DEFINICIONES Y DATOS BÁSICOS

1. AJUSTES

La norma UNE-EN ISO 286-1:2011 define AJUSTE del siguiente modo:

Es la relación resultante de la diferencia, antes de ensamblar, entre las medidas de dos elementos, agujero y eje respectivamente, destinados a ser ensamblados. Se entiende que ambos elementos tienen la misma medida nominal. Por otra parte, la forma del eje y agujero se interpreta de forma genérica y puede ser diferente a la cilíndrica.

Formulas básicas

$$T_{Tolerancia} = M_{Max(Valor\ Máximo)} - M_{Min(Valor\ Mínimo)}$$

$$ES(es)_{Desviación\ Superior} = M_{Max} - M_{Nom(Valor\ Nominal)}$$

$$EI(ei)_{Desviación\ Inferior} = M_{Min} - M_{Nom}$$

$$T(t) = ES(es) - EI(ei)$$

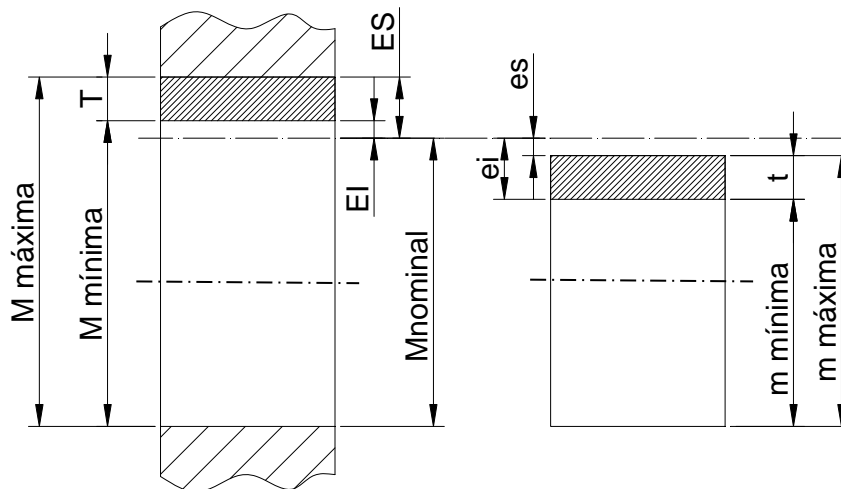


Fig. 1 Representación esquemática de las tolerancias

Cuando los datos están en mayúsculas se refieren a agujeros y cuando están representados por minúsculas se refieren a ejes.

Tipos de ajustes.

a) Juego.

Diferencia entre las medidas, antes de ensamblar, del agujero y del eje, cuando esta diferencia es positiva, es decir, cuando la medida del eje es inferior a la del agujero.

Juego mínimo: diferencia positiva entre la medida mínima de agujero (M_{Min}) y la máxima de eje (m_{max}).

$$J_{Min} = M_{Min} - m_{max}$$

desarrollando

$$J_{Min} = M_{Min} - m_{max} = (M_{nom} + EI) - (M_{nom} + es) = EI - es$$

Juego máximo: en ajuste con juego o indeterminado, diferencia positiva entre la medida máxima del agujero y la mínima del eje.

$$J_{Max} = M_{Max} - m_{min}$$

desarrollando

$$J_{Max} = M_{Max} - m_{min} = (M_{nom} + ES) - (M_{nom} + ei) = ES - ei$$

Tolerancia de juego (TJ): Diferencia entre el juego máximo y el mínimo.

$$TJ = J_{Max} - J_{Min}$$

desarrollando

$$\begin{aligned} \boxed{TJ} &= J_{Max} - J_{Min} = (M_{Max} - m_{min}) - (M_{Min} - m_{max}) = \\ &= (M_{Max} - M_{Min}) + (m_{max} - m_{min}) = \boxed{T_{Agujero} + t_{eje}} \end{aligned}$$

luego la tolerancia de juego es igual a la suma de las tolerancias del agujero y eje

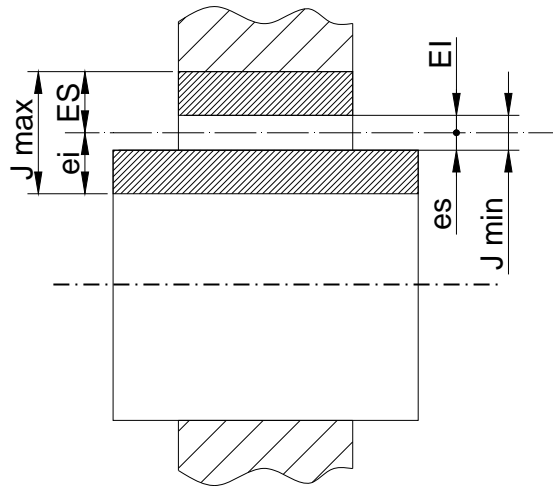


Fig. 2 Juego

b) Aprieto.

Diferencia de las medidas, antes de ensamblar, del agujero y del eje, cuando esta diferencia es negativa, es decir, cuando la medida del eje es superior a la del agujero.

Aprieto mínimo: diferencia negativa, antes de ensamblar, entre la medida máxima del agujero y la mínima del eje.

$$A_{Min} = M_{Max} - m_{min}$$

desarrollando

$$A_{Min} = M_{Max} - m_{min} = (M_{nom} + ES) - (M_{nom} + ei) = ES - ei$$

Aprieto máximo: en un ajuste con aprieto o en un ajuste incierto, diferencia negativa, antes de ensamblar, entre la medida mínima del agujero y la máxima del eje.

$$A_{Max} = M_{Min} - m_{max}$$

desarrollando

$$A_{Max} = M_{Min} - m_{max} = (M_{nom} + EI) - (M_{nom} + es) = EI - es$$

Tolerancia de aprieto (TA): Diferencia negativa entre el aprieto máximo y el mínimo.

$$TA = A_{Max} - A_{Min}$$

desarrollando, al igual que en el anterior

$$\begin{aligned} \boxed{TA} &= A_{Max} - A_{Min} = (M_{Min} - m_{max}) - (M_{Max} - m_{min}) = \\ &= -(M_{Max} - M_{Min}) - (m_{max} - m_{min}) = \boxed{-(T_{Agujero} + t_{eje})} \end{aligned}$$

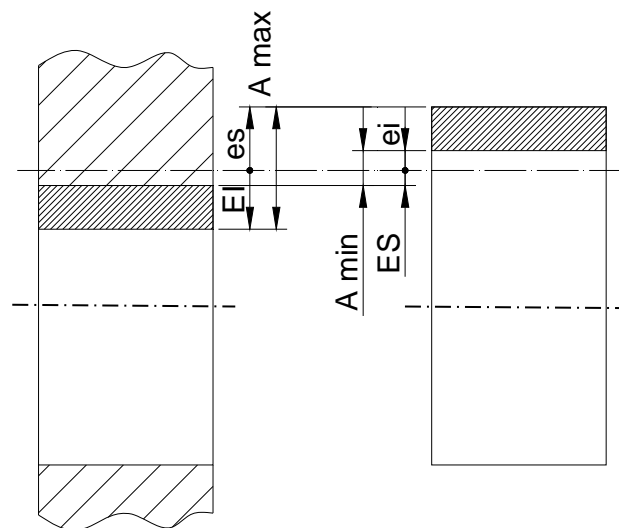


Fig. 3 Aprieto

Nota: A efectos de cálculo se consideran negativos los valores del aprieto.

c) Ajuste indeterminado o incierto.

Ajuste que asegura tanto juego como aprieto antes del ensamblaje, es decir, las zonas de tolerancia de ambos elementos se solapan entre sí. En otras palabras, la diferencia entre las medidas efectivas de agujero y eje puede resultar positiva o negativa.

Juego máximo: diferencia entre la medida máxima del agujero y la mínima del eje.

$$J_{Max} = M_{Max} - m_{min} = ES - ei$$

Aprieto máximo: diferencia entre la medida mínima del agujero y la máxima del eje.

$$A_{Max} = M_{Min} - m_{max} = EI - es$$

Tolerancia de ajuste indeterminado (TI): diferencia entre el aprieto máximo y el mínimo.

$$\boxed{TI} = J_{Max} - A_{Max} = (M_{Max} - m_{min}) - (M_{Min} - m_{max}) = \boxed{T_{Agujero} + t_{eje}}$$

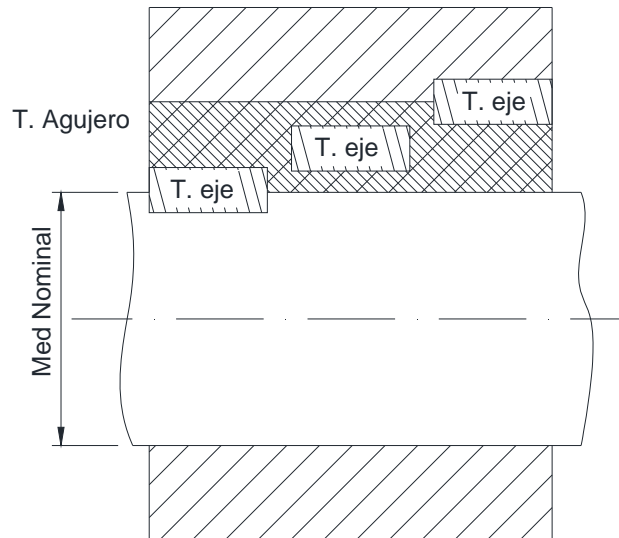


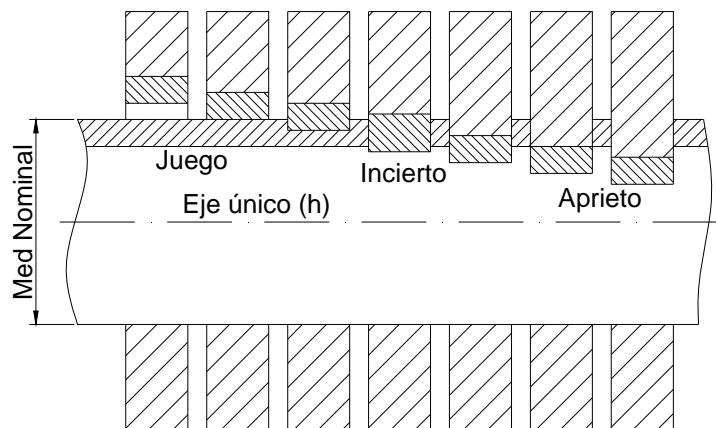
Fig. 4 Representación de las zonas de tolerancias en ajustes indeterminados. (Solape de tolerancias).

2. SISTEMAS DE AJUSTE.

Conjunto de ajustes entre ejes y agujeros que pertenecen a un sistema de tolerancias.

Dado que existe gran cantidad de combinaciones de posiciones de la zona de tolerancia para seleccionar un ajuste, se han definido dos sistemas de ajustes preferentes:

a) Sistema de ajuste de eje único.



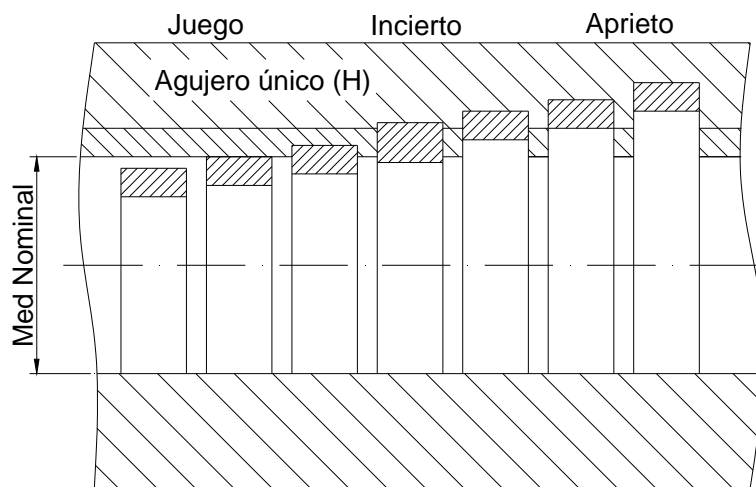
Conjunto de ajustes en el que los diferentes juegos o aprietos se obtienen variando la posición de la zona de tolerancia en el agujero y dejando fija la posición de tolerancia en el eje.

En el sistema eje único se toma la posición “h” como la posición única del eje. En esta posición la medida máxima del eje es igual a la nominal, luego la desviación superior del eje (es) es nula.

b) Sistema de ajuste de agujero único.

Conjunto de ajustes en el que los diferentes juegos o aprietos son obtenidos por variando la posición de la zona de tolerancia en el eje y dejando fija la posición de tolerancia en el agujero.

En el sistema agujero único se toma la posición “H” como la posición única del agujero. En esta posición la medida mínima del agujero es igual a la nominal, luego la desviación inferior (EI) es nula.



3. EJEMPLOS DE CÁLCULO

I. Se desea determinar un ajuste con juego, según el sistema ISO, siendo los datos los siguientes: medida nominal 90 mm, juego máximo 200 μm y juego mínimo 30 μm. Calcular el ajuste siguiendo el sistema de agujero único y de eje único.

a) Cálculo de la tolerancia

$$TJ = J_{Max} - J_{Min} = 200 - 30 = 170 \mu m$$

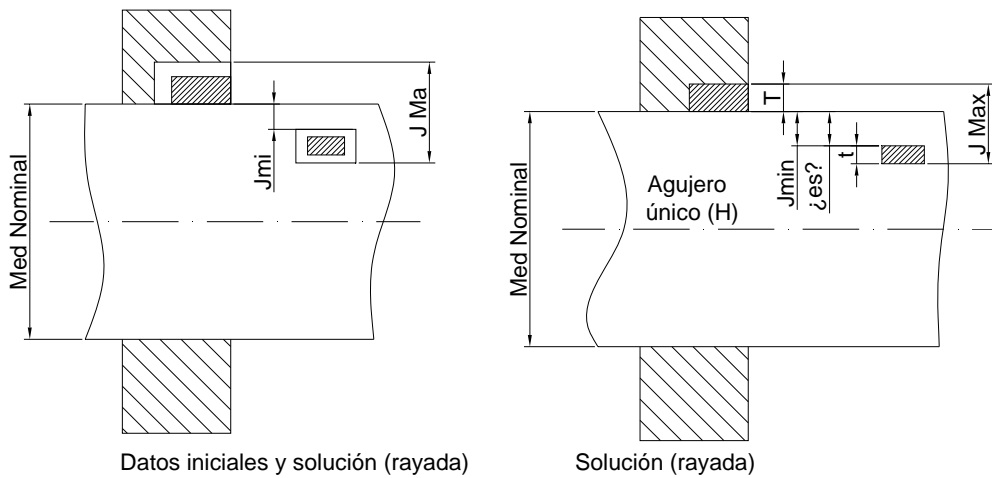
$$TJ = T_{Agujero} + t_{eje} \leq 170 \mu m$$

Dado que generalmente al agujero se le aplica una menor tolerancia (un grado o dos menos) que al eje, entrando en la tabla de calidades o grados de tolerancia obtenemos los valores de las calidades, teniendo que ser su suma menor o igual al valor hallado de 170 μm, por lo tanto:

$$\text{Agujero: IT9} = 87 \mu m \text{ (Tol agujero); Eje: IT8} = 54 \mu m \text{ (tol eje)}$$

b) Agujero único

En el sistema de agujero único la posición del agujero es la posición H, luego en este caso el ajuste tendrá la siguiente formulación: 90H9/_8: siendo necesario encontrar la posición de la tolerancia del eje.



De la figura anterior se extrae que:

$$|e_s| \geq |J_{mi}| = 30\mu m$$

$$e_s \leq J_{ma} - (T + t) = 200\mu m - (87\mu m + 54\mu m) = 59\mu m$$

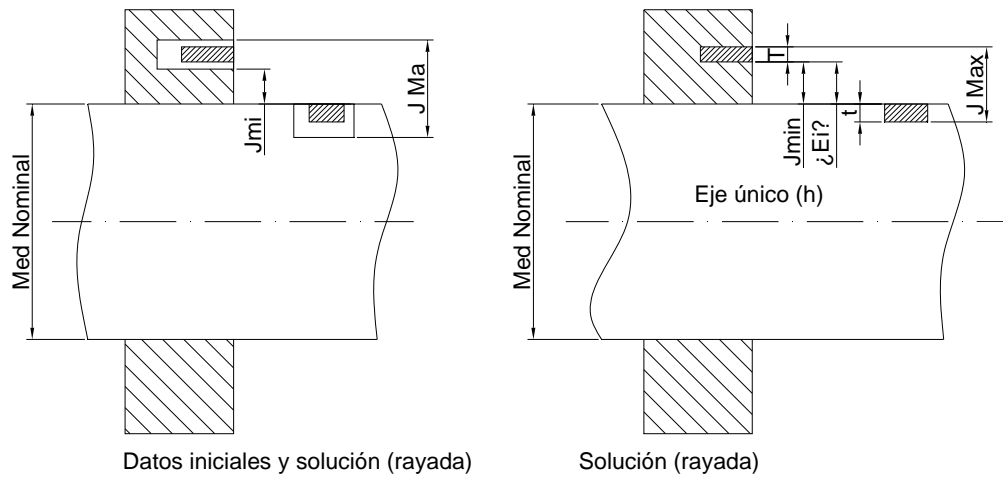
$$|-30| \leq |e_s| \leq |-59|$$

Con esos dos datos, entrado en la tabla, se observa que la única posición válida es la posición f ($e_s = -36\mu m$), luego el ajuste deseado es 90H9/f8, siendo los datos básicos del ajuste los siguientes:

Agujero	Agujero máx.: 90,087 mm	Agujero mín.: 90,000 mm
Eje	Eje máx.: 89,964 mm	Eje mín.: 89,910 mm
Juego	Juego máx.: 0,177 mm	Juego mín.: 0,036 mm

c) Eje único

En el sistema de eje único la posición del eje es la posición h, luego en este caso el ajuste tendrá la siguiente formulación: 90_9/h8: siendo necesario encontrar la posición del agujero.



De la figura anterior se extrae que:

$$|E_i| \geq |J_{mi}| = 30 \mu m$$

$$E_s \leq J_{ma} - (T + t) = 200 \mu m - (87 \mu m + 54 \mu m) = 59 \mu m$$

$$|-30| \leq |E_i| \leq |-59|$$

$$J_{min} \leq E_i \leq J_{Max} - (T + t)$$

En el caso actual:

$$30 \mu m \leq EI \leq 200 \mu m - (87 \mu m + 54 \mu m)$$

$$30 \mu m \leq EI \leq 59 \mu m$$

Entrando en la tabla la posición buscada es 90F9/h8, siendo los datos los siguientes:

Agujero	Agujero máx.: 90,123 mm	Agujero mín.: 90,036 mm
Eje	Eje máx.: 90,000 mm	Eje mín.: 89,946 mm
Juego	Juego máx.: 0,177 mm	Juego mín.: 0,036 mm

II. Se desea determinar un ajuste con aprieto, según el sistema ISO, siendo los datos los siguientes: medida nominal 40 mm, aprieto máximo $-150 \mu m$ y aprieto mínimo $-40 \mu m$. Calcular los posibles ajustes siguiendo el sistema de eje y de agujero único.

1. Cálculo de la tolerancia

$$TA = A_{Max} - A_{Min} = 150 - 40 = 110 \mu m \geq T_{Agujero} + t_{eje}$$

Entrando en la tabla de calidades o grados de tolerancia obtenemos los siguientes valores de las calidades, tomando la calidad del agujero igual o uno o dos grados menor que la del eje:

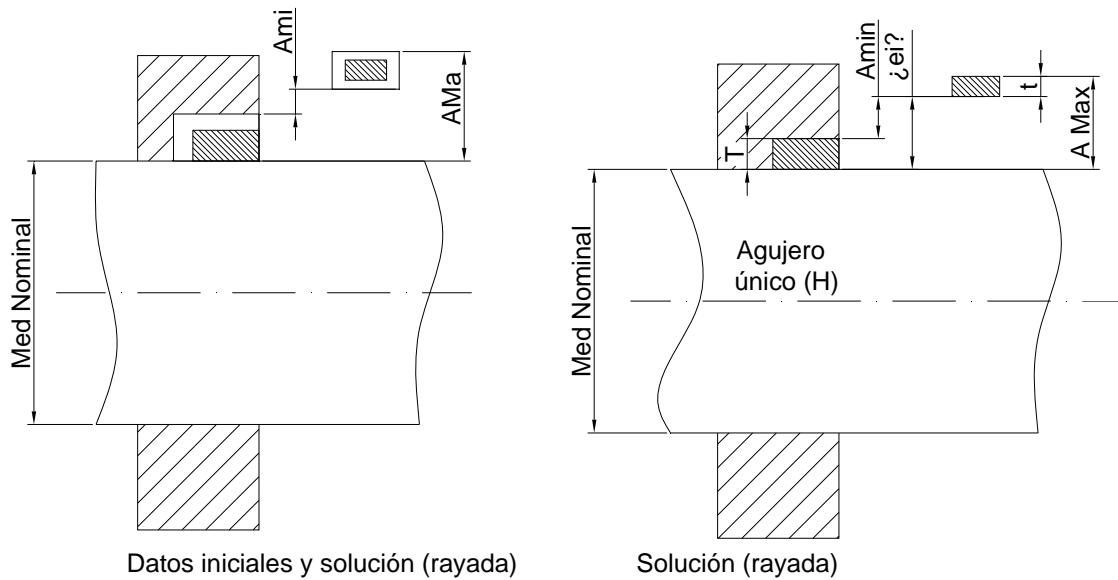
$$\text{Agujero: IT9} = 62 \mu m \quad \text{Eje: IT8} = 39 \mu m \quad (40_9/h8)$$

Agujero: IT8= 39 μm Eje: IT8= 39 μm (40_8/h8)

Agujero: IT9 = 62 μm Eje: IT7= 25 μm (40_9/h7)

2. Agujero único.

En el sistema de agujero único la posición del agujero es la posición H, luego en este caso el ajuste tendrá la siguiente formulación: 40H9/_8 siendo necesario encontrar la posición de la tolerancia del eje (se resuelve sólo el primer caso, en el siguiente apartado se desarrollan diversas opciones posibles).



De la figura anterior se extrae que:

$$|e_i| \geq |Am_i + T| = |40 + 62| \mu\text{m}$$

$$e_i \leq AMa - (t) = 150 \mu\text{m} - (39 \mu\text{m}) = 111 \mu\text{m}$$

$$|102| \leq |e_i| \leq |111|$$

Con esos dos datos, entrando en la tabla, se observa que no existe posición que cumpla este requisito, siendo la más próxima la posición z ($e_i=112 \mu\text{m}$). En este caso, 40H9/z8, los datos básicos del ajuste son los siguientes:

Agujero	Agujero máx.: 40,062 mm	Agujero mín.: 40,000 mm
Eje	Eje máx.: 40,151 mm	Eje mín.: 40,112 mm
Apriete	Apriete máx.: 0.151 mm	Apriete mín.: 0,050 mm

Se observa que el apriete máximo es superior al dato de partida.

- En el caso de que se considere: 40_8/h8

$$|e_i| \geq |A_{mi} + T| = |40 + 39|\mu m$$

$$e_i \leq A_{Ma} - (t) = 150\mu m - (39 \mu m) = 111\mu m$$

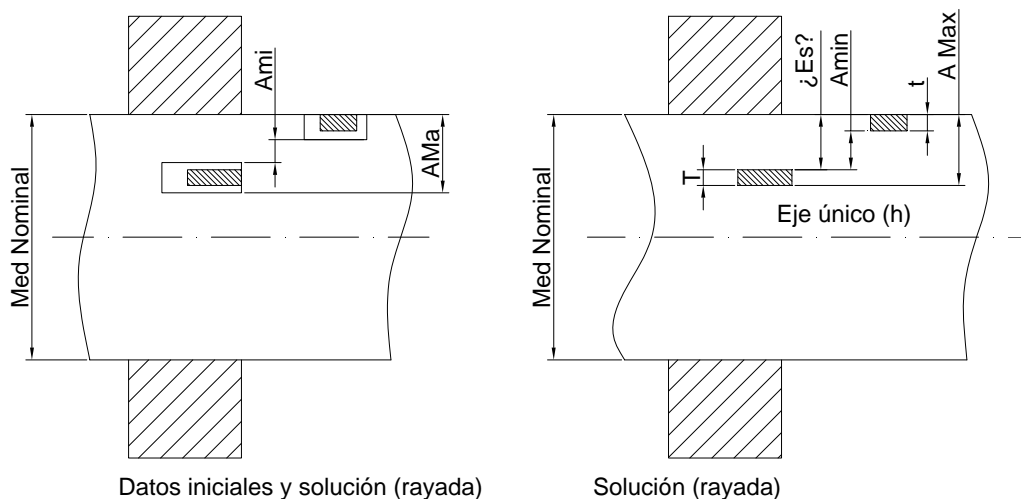
$$|79| \leq |e_i| \leq |111|$$

Con esos dos datos, entrado en la tabla, se observa que existen dos soluciones posibles, $x(e_i=80 \mu m)$ e $y(e_i=94 \mu m)$. En el caso, 40H8/x8, los datos básicos del ajuste son los siguientes:

Agujero	Agujero máx.: 40,039 mm	Agujero mín.: 40,000 mm
Eje	Eje máx.: 40,119 mm	Eje mín.: 40,080 mm
Apriete	Apriete máx.: 0.119 mm	Apriete mín.: 0,041 mm

3. Eje único

En el sistema de eje único la posición del eje es la posición h, luego en este caso el ajuste tendrá la siguiente formulación: 40_9/h8 siendo necesario encontrar la posición del agujero.



Viendo la figura anterior que representa el caso actual (aprieto, sistema eje único), se observa que el dato a buscar es la desviación superior del agujero ES que ha de estar entre un valor mínimo y un valor máximo:

$$ES \geq |A_{Min} + t_{eje}|; ES \leq |A_{Max} - T_{Agu}|$$

Dado que "ES" es negativo en este caso (por debajo de la medida nominal) y que A_{Min} y A_{Max} son valores negativos, tenemos que:

$$A_{Min} - t_{eje} \leq ES \leq A_{Max} + T_{Agu}$$

$$-40 - 39 \leq ES \leq -150 + 62$$

$$-79 \leq ES \leq -88$$

Entrando en las tablas tenemos que la posición adecuada es X, luego el ajuste es 40X9/h8. Los datos del ajuste son:

Agujero	Agujero máx.: 39,920 mm	Agujero mín.: 39,858 mm
Eje	Eje máx.: 40,000 mm	Eje mín.: 39,961 mm
Juego	Apriete máx.: 0,142 mm	Juego mín.: 0,041 mm

- Considerando la opción 40_8/h8 se obtienen los siguientes datos:

$$A_{Min} - t_{eje} \leq ES \leq A_{Max} + T_{Agu} \rightarrow -40 - 39 \leq ES \leq -150 + 39$$

$$-79 \leq ES \leq -111$$

Según tablas hay dos posibles soluciones:

40X8/h8

Agujero	Agujero máx.: 39,920 mm	Agujero mín.: 39,881 mm
Eje	Eje máx.: 40,000 mm	Eje mín.: 39,961 mm
Juego	Apriete máx.: -0,119 mm	Juego mín.: -0,041 mm

40Y8/h8

Agujero	Agujero máx.: 39,906 mm	Agujero mín.: 39,867 mm
Eje	Eje máx.: 40,000 mm	Eje mín.: 39,961 mm
Juego	Apriete máx.: -0,133 mm	Juego mín.: -0,055 mm

- Considerando la opción 40_9/h7 se obtiene:

$$A_{Min} - t_{eje} \leq ES \leq A_{Max} + T_{Agu} \rightarrow -40 - 25 \leq ES \leq -150 + 62$$

$$-65 \leq ES \leq -88$$

Dos posibles soluciones:

40V9/h7

Agujero	Agujero máx.: 39,932 mm	Agujero mín.: 39,870 mm
Eje	Eje máx.: 40,000 mm	Eje mín.: 39,975 mm
Juego	Apriete máx.: -0,130 mm	Juego mín.: -0,043 mm

40X9/h7

Agujero	Agujero máx.: 39,920 mm	Agujero mín.: 39,858 mm
Eje	Eje máx.: 40,000 mm	Eje mín.: 39,975 mm
Juego	Apriete máx.: -0,142mm	Juego mín.: -0,055mm

Tabla 4.4 Selección de ajustes según el "Sistema de eje base".

Eje base	Clases de tolerancia para agujeros															
	Ajustes con holgura					Ajustes indeterminados					Ajustes con interferencia					
h 5					G6	H6	JS6	K6	M6		N6	P6				
h 6				F7	G7	H7	JS7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7	U7	X7
h 7			E8	F8		H8										
h 8			D9	E9	F9	H9										
h 9			E8	F8		H8										
	B11	C10	D10	E9	F9	H9										

Otros ajustes recomendados de normativas anteriores de ISO se encuentran en la lista que se incluye a continuación, tiene carácter informativo. Los ajustes recomendados varían según el campo de producción, normativa local y las prácticas que son habituales en la empresa. La selección de los ajustes se ha de hacer teniendo en cuenta tanto aspectos tecnológicos como económicos. Es preciso considerar especialmente los instrumentos de metrología de que se dispone, calibres y herramientas necesarias para llevar a cabo la producción.

AGUJERO ÚNICO		EJE ÚNICO		CARACTERÍSTICAS DE ASIENTO	EJEMPLOS
H8	x8			Prensado duro. Montaje a prensa. No necesita seguro.	Coronas de bronce, ruedas.
H8	u8				
H7	s6			Prensado. Montaje a prensa.	Piñón motor.
H7	r6			Prensado ligero. Necesita seguro.	Engranajes de máquinas.
H7	n6			Muy forzado. Montaje a martillo.	Casquillos especiales.
H7	k6			Forzado. Montaje a martillo.	Rodamientos a bolas.
H7	j6			Forzado ligero. Montaje a mazo.	Rodamientos a bolas.
H7	h6			Deslizante con lubricación.	Ejes de lira.
H8	h9			Deslizante sin lubricación.	Ejes de contrapunto.
H11	h9			Deslizante. Ajuste corriente.	Ejes de colocaciones.
H11	h11			Deslizante. Ajuste ordinario.	Ejes-guías atados.
H7	g6	G7	h6	Giratorios sin juego apreciable.	Émbolos de freno.
H7	f7	F8	h6	Giratorios con poco juego.	Bielas, cojinetes.
H8	f7	F8	h9	Giratorios con poco juego.	Bielas, cojinetes.
H8	e8	E9	h9	Giratorios con gran juego.	Cojinetes corrientes.
H8	d9	D10	h9	Giratorios con mucho juego.	Soportes múltiples.
H11	c11	C11	h9	Libre, con holgura.	Cojinetes de máquinas agrícolas.
H11	a11	A11	h11	Muy libre	Avellanados. Taladros de tornillos.

Los ajustes preferentes, en negrita en la tabla, son: H8/x8, H8/u8, H7/r6, H7/h6, H8/h9, H7/f7, F8/h6, H8/f7, F8/h9, E9/h9, D10/h9, C11/h9.

Las calidades superficiales se pueden aplicar según el índice de tolerancia, pudiéndose relacionar las calidades entre N5-N8 con IT6-IT8, N9 con IT8 –IT9, N10-N11 con IT9-IT11.

En la siguiente tabla se muestran valores de las tolerancias de los ajustes recomendados por ISO de **eje base**, antes expuestos, así como su representación gráfica para la medida **10 < d ≤ 14**.

Calidad	h6	G7	F8	h9	F8	E9	D10	C11	h11	A11
d ≤ 3	0	+12	+20	0	+20	+39	+60	+120	0	+330
	-6	+2	+6	-25	+6	+14	+20	+60	-60	+270
3 < d ≤ 6	0	+16	+28	0	+28	+50	+78	+145	0	+345
	-8	+4	+10	-30	+10	+20	+30	+70	-75	+270
6 < d ≤ 10	0	+20	+35	0	+35	+61	+98	+170	0	+370
	-9	+5	+13	-36	+13	+25	+40	+80	-90	+280
10 < d ≤ 14	0	+24	+43	0	+43	+75	+120	+205	0	+400
	-11	+6	+16	-43	+16	+32	+50	+95	-110	+290
14 < d ≤ 18	0	+28	+53	0	+53	+92	+149	+240	0	+430
	-13	+7	+20	-52	+20	+40	+65	+110	-130	+300
18 < d ≤ 24	0	+28	+53	0	+53	+92	+149	+240	0	+430
	-13	+7	+20	-52	+20	+40	+65	+110	-130	+300
24 < d ≤ 30	0	+34	+64	0	+64	+112	+180	+280	0	+470
	-16	+9	+25	-62	+25	+50	+80	+120	-160	+310
30 < d ≤ 40	0	+34	+64	0	+64	+112	+180	+280	0	+470
	-16	+9	+25	-62	+25	+50	+80	+120	-160	+310
40 < d ≤ 50	0	+40	+76	0	+76	+134	+220	+330	0	+530
	-19	+10	+30	-74	+30	+60	+100	+140	-190	+340
50 < d ≤ 65	0	+40	+76	0	+76	+134	+220	+330	0	+530
	-19	+10	+30	-74	+30	+60	+100	+140	-190	+340
65 < d ≤ 80	0	+47	+90	0	+90	+159	+260	+390	0	+600
	-22	+12	+36	-87	+36	+72	+120	+170	-220	+380
80 < d ≤ 100	0	+47	+90	0	+90	+159	+260	+390	0	+600
	-22	+12	+36	-87	+36	+72	+120	+170	-220	+380
100 < d ≤ 120	0	+54	+106	0	+106	+185	+305	+450	0	+710
	-25	+14	+43	-100	+43	+85	+145	+200	-250	+460
120 < d ≤ 140	0	+54	+106	0	+106	+185	+305	+450	0	+710
	-25	+14	+43	-100	+43	+85	+145	+200	-250	+460
140 < d ≤ 160	0	+54	+106	0	+106	+185	+305	+450	0	+710
	-25	+14	+43	-100	+43	+85	+145	+200	-250	+460
160 < d ≤ 180	0	+54	+106	0	+106	+185	+305	+450	0	+710
	-25	+14	+43	-100	+43	+85	+145	+200	-250	+460
180 < d ≤ 200	0	+61	+122	0	+122	+215	+355	+530	0	+950
	-29	+15	+50	-115	+50	+100	+170	+240	-290	+660
200 < d ≤ 225	0	+61	+122	0	+122	+215	+355	+530	0	+950
	-29	+15	+50	-115	+50	+100	+170	+240	-290	+660
225 < d ≤ 250	0	+69	+137	0	+137	+240	+400	+620	0	+1240
	-32	+17	+56	-130	+56	+110	+190	+300	-320	+920
250 < d ≤ 280	0	+69	+137	0	+137	+240	+400	+620	0	+1240
	-32	+17	+56	-130	+56	+110	+190	+300	-320	+920
280 < d ≤ 315	0	+75	+151	0	+151	+265	+440	+720	0	+1560
	-36	+18	+62	-140	+62	+125	+210	+360	-360	+1200
315 < d ≤ 355	0	+75	+151	0	+151	+265	+440	+720	0	+1560
	-36	+18	+62	-140	+62	+125	+210	+360	-360	+1200
355 < d ≤ 400	0	+83	+165	0	+165	+290	+480	+840	0	+1900
	-40	+20	+68	-155	+68	+135	+230	+440	-400	+1500
400 < d ≤ 450	0	+83	+165	0	+165	+290	+480	+840	0	+1900
	-40	+20	+68	-155	+68	+135	+230	+440	-400	+1500
450 < d ≤ 500	0	+83	+165	0	+165	+290	+480	+840	0	+1900
	-40	+20	+68	-155	+68	+135	+230	+440	-400	+1500