

Propiedades mecánicas y físicas de tornillos

según ISO 898, parte 1

Las propiedades mecánicas de tornillos son válidas para las pruebas a temperatura ambiente.

Nº	Resistencia mecánica o física		Clase de resistencia										
			4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 d ≤ 16 mm ^a	d > 16 mm ^b	9.8 d ≤ 16 mm	10.9	12.9/ 12.9	
1	Fuerza de tensión, R _m , MPa, [N/mm ²]	nom. ^c	400	400	500	500	600	800	800	900	1000	1200	
		mín.	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220	
2	Limite elástico inferior, R _{eL} ^d , MPa, [N/mm ²]	nom. ^c	240	–	300	–	–	–	–	–	–	–	
		mín.	240	–	300	–	–	–	–	–	–	–	
3	Tensión al 0,2% de elongación no proporcional R _{p0,2} ^e , MPa, [N/mm ²]	nom. ^c	–	–	–	–	–	640	640	720	900	1080	
		mín.	–	–	–	–	–	640	660	720	940	1100	
4	Tensión a 0,0048 d elongación no proporcional para dispositivos de fijación de tamaño completo R _{pf} , MPa, [N/mm ²]	nom. ^c	–	320	–	400	480	–	–	–	–	–	
		mín.	–	340 ^g	–	420 ^g	480 ^g	–	–	–	–	–	
5	Tensión bajo carga de prueba, S _p ^f , MPa, [N/mm ²]	nom.	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970	
		Proporción de fuerza de prueba S _{p, nom} /R _{eL min} ^o S _{p, nom} /R _{p0,2 min} ^o S _{p, nom} /R _{pf min}	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88	
6	Porcentaje de elongación tras fisura para piezas mecanizadas de prueba, A, %	mín.	22	–	20	–	–	12	12	10	9	8	
7	Porcentaje de reducción de rango tras fisura para piezas mecanizadas de prueba, Z, %	mín.	–	–	–	–	–	52	52	48	48	44	
8	Elongación tras fisuras para dispositivos de fijación de tamaño completo, A _f (véase también ISO 898-1, anexo C)	mín.	–	0,24	–	0,22	0,20	–	–	–	–	–	
9	Solidez de la cabeza	sin fisura											
10	Dureza Vickers, HV F ≥ 98 N	mín.	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385	
		máx.	220 ^g	220 ^g	220 ^g	220 ^g	250	320	335	360	380	435	
11	Dureza Brinell, HBW F = 30 D ²	mín.	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366	
		máx.	209 ^g	209 ^g	209 ^g	209 ^g	238	304	318	342	361	414	
12	Dureza Rockwell, HRB	mín.	67	71	79	82	89	–	–	–	–	–	
		máx.	95,0 ^g	95,0 ^g	95,0 ^g	95,0 ^g	99,5	–	–	–	–	–	
	Dureza Rockwell, HRC	mín.	–	–	–	–	–	22	23	28	32	39	
		máx.	–	–	–	–	–	32	34	37	39	44	
13	Dureza superficial, HV 0,3	máx.	–	–	–	–	–	^h	^h	^h	^{h,i}	^{h,j}	
14	Altura de zona de rosca no decarburizada, E, mm	mín.	–	–	–	–	–	¹ / ₂ H ₁	¹ / ₂ H ₁	¹ / ₂ H ₁	² / ₃ H ₁	³ / ₄ H ₁	
	Profundidad de descarburización completa en la rosca G, mm	máx.	–	–	–	–	–	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	
15	Reducción de dureza tras retemplado, HV	máx.	–	–	–	–	–	20	20	20	20	20	
16	Par de fractura, M _B Nm	mín.	–	–	–	–	–	de acuerdo con ISO 898-7					
17	Fuerza de impacto K _V ^{k,l} , J	mín.	–	–	27	–	–	27	27	27	27	m	
18	Integridad superficial de acuerdo con	ISO 6157-1 ⁿ											

^a Valores no aplicables para unión estructural con perno.
^b Para unión estructural con perno d ≥ M12.
^c Los valores nominales sólo se especifican para el propósito del sistema de designación para clases de resistencia.
^d En casos en los que no se pueda determinar la fuerza de rendimiento inferior R_{eL}, es admisible medir la tensión al 0,2% de elongación no proporcional R_{p0,2}.
^e Para las clases de resistencia 4.8, 5.8 y 6.8, se están investigando los valores para R_{pf min}. Los presentes valores sólo se indican para el cálculo de la proporción de tensión. No son valores de prueba.
^f Las cargas de prueba se especifican en las tablas F.006.
^g La dureza determinada en el final de un dispositivo de fijación debería ser 250 HV, 238 HB o 99,5 HRC como máximo.
^h La dureza superficial no debería ser superior a 30 puntos Vickers por encima de la dureza del núcleo medida del dispositivo de fijación, cuando la determinación de la dureza superficial y de la dureza del núcleo se realice con HV 0,3.
ⁱ Será inaceptable cualquier incremento en la dureza de la superficie que indique que la dureza superficial excede 390 HV.
^j Será inaceptable cualquier incremento en la dureza de la superficie que indique que la dureza superficial excede 435 HV.
^k Los valores se determinan con una temperatura de prueba de -20 °C.
^l Aplicable a d ≥ 16 mm.
^m El valor para K_V se está investigando.
ⁿ En lugar de la norma ISO 6157-1, podrá aplicarse la norma ISO 6157-3 si el fabricante y el comprador están de acuerdo.

Fuerzas de rotura mín. de tornillos

según ISO 898, parte 1

Fuerzas de rotura mínimas – rosca métrica normal ISO

Rosca ¹⁾ d	Área de tensión nominal A _{s, nom} [mm²]	Carga de tensión final mínima F _{m, min} (A _{s, nom} x R _{m, min}) [N]								
		Clase de resistencia								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
M3	5,03	2010	2110	2510	2620	3020	4020	4530	5230	6140
M3,5	6,78	2710	2850	3390	3530	4070	5420	6100	7050	8270
M4	8,78	3510	3690	4390	4570	5270	7020	7900	9130	10700
M5	14,2	5680	5960	7100	7380	8520	11350	12800	14800	17300
M6	20,1	8040	8440	10000	10400	12100	16100	18100	20900	24500
M7	28,9	11600	12100	14400	15000	17300	23100	26000	30100	35300
M8	36,6	14600 ²⁾	15400	18300 ²⁾	19000	22000	29200 ²⁾	32900	38100 ²⁾	44600
M10	58,0	23200 ²⁾	24400	29000 ²⁾	30200	34800	46400 ²⁾	52200	60300 ²⁾	70800
M12	84,3	33700	35400	42200	43800	50600	67400 ³⁾	75900	87700	103000
M14	115	46000	48300	57500	59800	69000	92000 ³⁾	104000	120000	140000
M16	157	62800	65900	78500	81600	94000	125000 ³⁾	141000	163000	192000
M18	192	76800	80600	96000	99800	115000	159000	–	200000	234000
M20	245	98000	103000	122000	127000	147000	203000	–	255000	299000
M22	303	121000	127000	152000	158000	182000	252000	–	315000	370000
M24	353	141000	148000	176000	184000	212000	293000	–	367000	431000
M27	459	184000	193000	230000	239000	275000	381000	–	477000	560000
M30	561	224000	236000	280000	292000	337000	466000	–	583000	684000
M33	694	278000	292000	347000	361000	416000	576000	–	722000	847000
M36	817	327000	343000	408000	425000	490000	678000	–	850000	997000
M39	976	390000	410000	488000	508000	586000	810000	–	1020000	1200000

¹⁾ Si no se indica el grado de rosca en una designación de rosca, se especificará el grado convencional.
²⁾ Para dispositivos de fijación con tolerancia de rosca 6az de acuerdo con ISO 965-4 sujetos a galvanizado por inmersión en caliente, valores reducidos de acuerdo con ISO 10684.
³⁾ Para uniones estructurales con perno 70 000 N (para M12), 95 000 N (para M14) y 130 000 N (para M16).

 A calcular A_{s, nom}
Página F.046

Fuerzas de rotura mínimas – rosca métrica fina ISO

Rosca d x P	Área de tensión nominal A _{s, nom} [mm²]	Carga de tensión final mínima F _{m, min} (A _{s, nom} x R _{m, min}) [N]								
		Clase de resistencia								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
M8x1	39,2	15700	16500	19600	20400	23500	31360	35300	40800	47800
M10x1	64,5	25800	27100	32300	33500	38700	51600	58100	67100	78700
M10x1,25	61,2	24500	25700	30600	31800	36700	49000	55100	63600	74700
M12x1,25	92,1	36800	38700	46100	47900	55300	73700	82900	95800	112000
M12x1,5	88,1	35200	37000	44100	45800	52900	70500	79300	91600	107000
M14x1,5	125	50000	52500	62500	65000	75000	100000	112000	130000	152000
M16x1,5	167	66800	70100	83500	86800	100000	134000	150000	174000	204000
M18x1,5	216	86400	90700	108000	112000	130000	179000	–	225000	264000
M20x1,5	272	109000	114000	136000	141000	163000	226000	–	283000	332000
M22x1,5	333	133000	140000	166000	173000	200000	276000	–	346000	406000
M24x2	384	154000	161000	192000	200000	230000	319000	–	399000	469000
M27x2	496	198000	208000	248000	258000	298000	412000	–	516000	605000
M30x2	621	248000	261000	310000	323000	373000	515000	–	646000	758000
M33x2	761	304000	320000	380000	396000	457000	632000	–	791000	928000
M36x3	865	346000	363000	432000	450000	519000	718000	–	900000	1055000
M39x3	1 030	412000	433000	515000	536000	618000	855000	–	1 070 000	1 260 000

Tornillos, clases de resistencia 4.6 a 12.9/12.9

Cargas de prueba

de acuerdo con ISO 898, parte 1

Cargas de prueba – rosca métrica de paso convencional ISO

Rosca ¹⁾ d	Área de tensión nominal A _{s, nom} [mm²]	Carga de prueba F _p (A _{s, nom} x S _{p, nom} ⁴⁾) [N]								
		Clase de resistencia								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
M3	5,03	1130	1560	1410	1910	2210	2920	3270	4180	4880
M3,5	6,78	1530	2100	1900	2580	2980	3940	4410	5630	6580
M4	8,78	1980	2720	2460	3340	3860	5100	5710	7290	8520
M5	14,2	3200	4400	3980	5400	6250	8230	9230	11800	13800
M6	20,1	4520	6230	5630	7640	8840	11600	13100	16700	19500
M7	28,9	6500	8960	8090	11000	12700	16800	18800	24000	28000
M8	36,6	8240 ²⁾	11400	10200 ²⁾	13900	16100	21200 ²⁾	23800	30400 ²⁾	35500
M10	58,0	13000 ²⁾	18000	16200 ²⁾	22000	25500	33700 ²⁾	37700	48100 ²⁾	56300
M12	84,3	19000	26100	23600	32000	37100	48900 ³⁾	54800	70000	81800
M14	115	25900	35600	32200	43700	50600	66700 ³⁾	74800	95500	112000
M16	157	35300	48700	44000	59700	69100	91000 ³⁾	102000	130000	152000
M18	192	43200	59500	53800	73000	84500	115000	–	159000	186000
M20	245	55100	76000	68600	93100	108000	147000	–	203000	238000
M22	303	68200	93900	84800	115000	133000	182000	–	252000	294000
M24	353	79400	109000	98800	134000	155000	212000	–	293000	342000
M27	459	103000	142000	128000	174000	202000	275000	–	381000	445000
M30	561	126000	174000	157000	213000	247000	337000	–	466000	544000
M33	694	156000	215000	194000	264000	305000	416000	–	576000	673000
M36	817	184000	253000	229000	310000	359000	490000	–	678000	792000
M39	976	220000	303000	273000	371000	429000	586000	–	810000	947000

¹⁾ Si no se indica el paso de rosca en una designación de rosca, se especificará el paso convencional.
²⁾ Para dispositivos de fijación con tolerancia de rosca 6az de acuerdo con ISO 965-4 sujetos a galvanizado por inmersión en caliente, valores reducidos de acuerdo con ISO 10684.
³⁾ Para uniones estructurales con perno 50 700 N (para M12), 68 800 N (para M14) y 94 500 N (para M16).
⁴⁾ Valor para el esfuerzo bajo carga de prueba S_{p, nom} y su relación con el estrés en el alargamiento no proporcional véase la página F.004, N° 5 en la tabla.

 A calcular A_{s, nom}
Página F.046

Cargas de prueba – rosca métrica de paso fino ISO

Rosca d x P	Área de tensión nominal A _{s, nom} [mm²]	Carga de prueba, F _p (A _{s, nom} x S _{p, nom}) [N]								
		Clase de resistencia								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
M8x1	39,2	8820	12200	11000	14900	17200	22700	25500	32500	38000
M10x1,25	61,2	13800	19000	17100	23300	26900	35500	39800	50800	59400
M10x1	64,5	14500	20000	18100	24500	28400	37400	41900	53500	62700
M12x1,25	92,1	20700	28600	25800	35000	40500	53400	59900	76400	89300
M12x1,5	88,1	19800	27300	24700	33500	38800	51100	57300	73100	85500
M14x1,5	125	28100	38800	35000	47500	55000	72500	81200	104000	121000
M16x1,5	167	37600	51800	46800	63500	73500	96900	109000	139000	162000
M18x1,5	216	48600	67000	60500	82100	95000	130000	–	179000	210000
M20x1,5	272	61200	84300	76200	103000	120000	163000	–	226000	264000
M22x1,5	333	74900	103000	93200	126000	146000	200000	–	276000	323000
M24x2	384	86400	119000	108000	146000	169000	230000	–	319000	372000
M27x2	496	112000	154000	139000	188000	218000	298000	–	412000	481000
M30x2	621	140000	192000	174000	236000	273000	373000	–	515000	602000
M33x2	761	171000	236000	213000	289000	335000	457000	–	632000	738000
M36x3	865	195000	268000	242000	329000	381000	519000	–	718000	839000
M39x3	1030	232000	319000	288000	391000	453000	618000	–	855000	999000

Materiales, tratamiento térmico, composición química**según ISO 898, parte 1****Aceros**

Clase de resistencia	Material y tratamiento térmico	Límites de composición química (análisis de colada, %) ¹⁾					Temperatura de templado °C
		C		P	S	B ²⁾	
		mín.	máx.	máx.	máx.	máx.	
4.6 ^{3), 4)}	Acero de carbono o acero de carbono con aditivos	–	0,55	0,05	0,06	No especificado	–
4.8 ⁴⁾							
5.6 ³⁾		0,13	0,55	0,05	0,06		
5.8 ⁴⁾		–	0,55	0,05	0,06		
6.8 ⁴⁾		0,15	0,55	0,05	0,06		
8.8 ⁶⁾	Acero de carbono con aditivos (p. ej. boro o manganeso o cromo), enfriado y templado	0,15 ⁵⁾	0,40	0,025	0,025	0,003	425
	o	0,25	0,55	0,025	0,025		
	Acero de carbono, enfriado y templado						
	o	0,20	0,55	0,025	0,025		
9.8 ⁶⁾	Acero de carbono con aditivos (p. ej. boro o manganeso o cromo), enfriado y templado	0,15 ⁵⁾	0,40	0,025	0,025	0,003	425
	o	0,25	0,55	0,025	0,025		
	Acero de carbono, enfriado y templado						
	o	0,20	0,55	0,025	0,025		
10.9 ⁶⁾	Acero de carbono con aditivos (p. ej. boro o manganeso o cromo), enfriado y templado	0,20 ⁵⁾	0,55	0,025	0,025	0,003	425
	o	0,25	0,55	0,025	0,025		
	Acero de carbono, enfriado y templado						
	o	0,20	0,55	0,025	0,025		
12.9 ^{6), 8), 9)}	Acero aleado, enfriado y templado ⁷⁾	0,30	0,50	0,025	0,025	0,003	425
	o						
	Acero de carbono, enfriado y templado						
	o	0,20	0,55	0,025	0,025		
12.9 ^{6), 8), 9)}	Acero de carbono con aditivos (p. ej. boro o manganeso o cromo), enfriado y templado	0,28	0,50	0,025	0,025	0,003	380

¹⁾ En caso de conflicto, será aplicable el análisis del producto.

²⁾ El contenido de boro puede alcanzar el 0,005 %, siempre que el boro no efectivo esté controlado mediante la adición de titanio y/o aluminio.

³⁾ Para las fijaciones forjadas en frío con las clases de resistencia 4.6 y 5.6, puede ser necesario un tratamiento térmico del cable usado para el forjado en frío o para las fijaciones forjadas en frío propiamente dichas, para alcanzar la ductilidad requerida.

⁴⁾ Se permite acero de decoletaje para estas clases de resistencia con los siguientes contenidos máximos de sulfuro, fósforo y plomo: sulfuro 0,34 %; fósforo 0,11 %; plomo 0,35 %.

⁵⁾ En caso de acero de carbón simple al boro con un contenido de carbono inferior al 0,25 % (análisis de colada), el contenido mínimo de manganeso deberán ser del 0,6 % para la clase de resistencia 8.8 y del 0,7 % para las clases 9.8 y 10.9.

⁶⁾ Para los materiales de estas clases de resistencia, deberá existir una templabilidad suficiente para garantizar una estructura consistente en aprox. el 90 % de martensita en el núcleo de las secciones roscadas, para que las fijaciones presenten la condición «como la templada» antes de realizar el templado.

⁷⁾ Este acero aleado deberá contener al menos uno de los siguientes elementos en la cantidad mínima indicada: cromo 0,3 %, níquel 0,3 %, molibdeno 0,2 %, vanadio 0,1 %. Donde los elementos estén especificados en combinaciones de dos, tres o cuatro elementos y presenten un contenido aleado inferior al indicado anteriormente, el valor límite aplicable para la determinación de la clase es el 70 % de la suma de los valores límite individuales mostrados arriba para los dos, tres o cuatro elementos correspondientes.

⁸⁾ Para la clase de resistencia 12.9/12.9 no se permite una capa blanca de fósforo enriquecida, detectable metalográficamente. Deberá detectarse mediante un método de prueba apropiado.

⁹⁾ Se recomienda precaución cuando se plantee el uso de la clase de resistencia 12.9/12.9. Se deberán tener en cuenta la capacidad del fabricante de la fijación, las condiciones de servicio y los métodos de desgarro. Los entornos pueden causar fisuras de corrosión por tensión de fijaciones si se procesan como las recubiertas.

Características a temperaturas elevadas

de acuerdo con la norma ISO 898, parte 1

Influencia de temperaturas elevadas en las propiedades mecánicas de los elementos de fijación

Las temperaturas elevadas pueden producir cambios en las propiedades mecánicas y en la actuación funcional de los elementos de fijación.

Hasta una temperatura típica de servicio de 150 °C, no se conocen efectos de detrimento debidos a un cambio de las propiedades mecánicas de los dispositivos de fijación. En caso de temperaturas superiores a 150 °C y hasta una temperatura máxima de 300 °C, la actuación funcional de los dispositivos de fijación debería asegurarse mediante un cuidadoso examen.

Con el incremento de las temperaturas, se puede experimentar – una reducción de la fuerza o tensión de rendimiento inferior al 0,2% de elongación no proporcional o tensión a 0,0048 d de elongación no proporcional para dispositivos de fijación, y – una reducción de la fuerza de tensión progresivas

La operación continua de los dispositivos de fijación a temperaturas de servicio elevadas puede producir una relajación de

la tensión, que se incrementará con temperaturas superiores. La relajación de la tensión conlleva una pérdida de la fuerza de sujeción.

Los elementos de fijación estampados en frío (clase de resistencia 4.8, 5.8, 6.8) son más sensibles a la relajación de tensiones que los elementos de fijación templados y revenidos.

Se recomienda precaución en caso de utilización de aceros con plomo a temperaturas elevadas. Para este tipo de dispositivos de fijación, se deberá considerar el riesgo de fragilización por metal líquido (liquid metal embrittlement, LME), si la temperatura de servicio se encuentra en el rango del punto de fusión del plomo.

Información, por ejemplo, en la norma EN 10269 y en ASTM F2281.

Propiedades de alta resistencia (si $\geq 1000 \text{ N/mm}^2$)

Influencia de resistencias de una mayor clase de resistencia considerando la carga mecánica y las condiciones del entorno.

► Riesgo de fragilización por hidrógeno Página F.038

