

Manejo de los valores de referencia

Fuerzas de tensión previa y pares de apriete

Este procedimiento no puede sustituir el cálculo según VDI 2230 y no se corresponde con los avances técnicos. Sin embargo, puede evitar una fracturas de tornillo en caso de montaje de tornillos no calculados. La causa principal de este tipo de fracturas son coeficientes de fricción más reducidos que lo aceptado.

Paso 1: coeficiente de fricción $\mu_K = \mu_G$

En caso de dudas sobre el estado exacto de la **superficie y de la lubricación de la rosca y de la superficie de colocación**, tiene que seleccionarse de la tabla **F.049** el coeficiente de fricción $\mu_K = \mu_G$ **menor** existente en la práctica.

Ejemplo:

Elección de tornillo y tuerca con estado de superficie galvanizada

Coefficiente de fricción $\mu_K = \mu_G = 0,14 - 0,24$,

valor mínimo $\mu_K = \mu_G = 0,14$

Paso 2: par de apriete de montaje $M_{A \text{ máx.}}$

Este par de apriete máximo admisible con un aprovechamiento del 90 % del límite elástico inferior (R_{eL}) o del 0,2 % límite elástico ($R_{p0,2}$) se encuentra en las tablas a partir de la página **F.053**. Este es el par de apriete de montaje con uso de destornilladores modernos con una dispersión del par de máx. 5 %.

Ejemplo:

Tornillo hexagonal ISO 4017, M12, clase de resistencia 8.8, galvanizado. Busque en la página **F.054** en «Rosca M12» la fila $\mu_K = \mu_G = 0,14$. Encuentre en esta fila en la mitad derecha de la tabla «Pares de apriete máximos» en la columna «Clase de resistencia 8.8» el par de apriete de montaje $M_{A \text{ máx.}} = 93 \text{ Nm}$

Paso 3: fuerza máxima de tensión previa de montaje $F_{M \text{ máx.}}$

Con el par de apriete $M_{A \text{ máx.}}$ en la misma tabla también puede leer la fuerza máxima de tensión previa de montaje $F_{M \text{ máx.}}$ resultante.

Ejemplo:

En la mitad izquierda de la tabla, en la columna «Clase de resistencia 8.8» y en la fila «M12/0,14» encontrará la fuerza de tensión previa de montaje máxima resultante $F_{M \text{ máx.}} = 41,9 \text{ kN}$

Paso 4: fuerza mínima de tensión previa de montaje $F_{M \text{ mín.}}$

Puede obtener la fuerza de tensión previa mínima de la fuerza máxima de tensión previa de montaje con ayuda del factor de apriete α_A – véase **F.051**.

Ejemplo:

Si el apriete se realiza uniformemente con una llave dinamométrica moderna convencional y se estima el coeficiente de fricción, tiene que contarse con un factor de apriete $\alpha_A = 1,6$ a $2,0$; véase tabla en la página **F.051**. Si la llave emite señales (como en el ejemplo), servirá el valor más alto $2,0$.

Debido a que el tornillo corto M12x40 se puede apretar con un ángulo de giro pequeño y se obtiene como resultado una unión relativamente rígida, este valor se puede seleccionar algo más reducido.

Por ello suponiendo que $\alpha_A = 1,8$

Fuerza mínima de tensión previa prevista de montaje:

$$F_{M \text{ mín.}} = F_{M \text{ máx.}} / \alpha_A = 41,9 \text{ kN} / 1,8$$

$$F_{M \text{ mín.}} = 23,3 \text{ kN}$$

Paso 5: Control

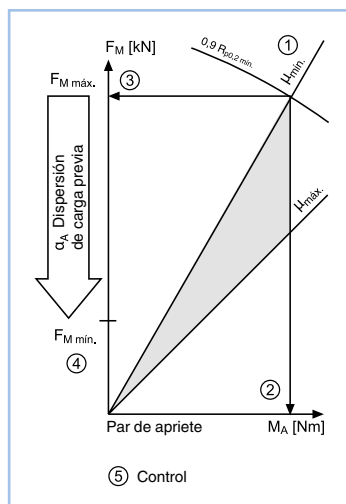
Control con cálculos según VDI 2230 es «Avance técnico»

- La fuerza de tensión previa mínima de montaje $F_{M \text{ mín.}}$ es suficiente para las fuerzas máximas existentes en la práctica?
- Las presiones superficiales en las superficies de colocación no son demasiado altas?
- Cómo de alta es la fuerza de sujeción residual bajo condiciones de servicio?
- No se excede la resistencia a la carga de fractura del tornillo?

Si el par de apriete M_A se toma más bajo que el valor de la tabla por cualquier motivo, también la fuerza de tensión previa de montaje F_M resultante y la fuerza de tensión previa mínima derivada de ello, $F_{M \text{ mín.}}$ también se reducirán en el mismo porcentaje. El usuario deberá comprobar si las propiedades de unión siguen siendo las adecuadas en este caso.

Posibles motivos para este tipo de procedimiento:

- coeficientes de fricción más reducidos a los aceptados y consiguiente riesgo de fractura de tornillo en el montaje
- posible uso de llave dinamométrica menos precisa que la especificada y consiguiente riesgo similar de fallo
- piezas de sujeción que podrían deformarse de manera no prevista, etc.
- conocimientos técnicos insuficientes del personal encargado del montaje



Valores de referencia para roscas normales VDI 2230

Indicaciones sobre la base de VDI 2230, edición de 2015: Pares de apriete máximos admisibles y fuerzas de tensión previa máximas resultantes para tornillos hexagonales ISO 4014 – 4018, tornillos de hexágono interior ISO 4762 y para tornillos con resistencias y superficies de colocación de la cabeza análogas de las clases de resistencia 3.6 a 12.9 con un **aprovechamiento del límite elástico 90 % $R_{el}/0,2$ % del límite elástico $R_{p0,2}$** . Orificios conforme a ISO 273 serie media.

La tabla muestra los valores máximos admisibles y no contiene otros factores de seguridad. Presupone el conocimiento de las directivas y los criterios de diseño pertinentes.

Valores de referencia, tablas F.053 y F.054

Los valores de referencia son ligeramente superiores a la versión anterior VDI 2230, edición de 1986, ya que mediante la observación de las reservas no utilizadas hasta el momento se aprovecha mejor la resistencia del tornillo gracias a una fuerza de tensión previa de montaje superior.

Se requiere cálculo de prueba. VDI 2230, edición de 2015

Par de apriete, tablas F.053 y F.054

Con $M_A = F_M \cdot X$ se puede calcular el par de apriete para cualquier otra fuerza de tensión previa.

Rosca	Coeficiente de fricción $\mu_K = \mu_G$	Fuerza de tensión previa máxima $F_{M \text{ máx.}}$ [N]							Par de apriete máximo $M_{A \text{ máx.}}$ [Ncm]							Factor de conversión X
		Clases de resistencia según ISO 898/1							Clases de resistencia según ISO 898/1							
		3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	
M1,6	0,10	176	235	294	470	627	882	1058	4,2	5,7	7,1	11,3	15,1	21,2	25,5	0,024
	0,12	171	228	285	455	607	854	1025	4,7	6,3	7,9	12,6	16,9	23,7	28,5	0,028
	0,14	165	220	275	441	588	826	992	5,2	6,9	8,7	13,9	18,5	26	31,2	0,032
M2	0,10	292	390	487	779	1039	1461	1754	9	11,9	14,9	23,8	31,7	44,5	53,5	0,031
	0,12	283	378	472	756	1008	1417	1701	10	13,3	16,7	26,7	35,6	50	60	0,035
	0,14	274	366	457	732	976	1373	1647	11	14,7	18,4	29,4	39,2	55	66	0,040
M2,5	0,10	485	647	809	1294	1725	2426	2911	18	24	30	49	65	91	109	0,037
	0,12	471	628	785	1257	1676	2356	2828	21	27	34	55	73	103	123	0,044
	0,14	457	609	762	1219	1625	2285	2742	23	30	38	60	81	113	136	0,050
M3	0,10	726	968	1210	1936	2582	3631	4357	32	42	53	84	112	158	190	0,044
	0,12	706	941	1177	1883	2510	3530	4236	36	48	60	95	127	179	214	0,051
	0,14	685	914	1142	1827	2436	3426	4111	40	53	66	105	141	198	237	0,058

Rosca	Coeficiente de fricción $\mu_K = \mu_G$	Fuerza de tensión previa máxima $F_{M \text{ máx.}}$ [kN]							Par de apriete máximo $M_{A \text{ máx.}}$ [Nm]							Factor de conversión X
		Clases de resistencia según ISO 898/1							Clases de resistencia según ISO 898/1							
		3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	
M4	0,08	1,3	1,74	2,17	3,48	4,6	6,8	8,0	0,63	0,84	1,05	1,68	2,3	3,3	3,9	0,50
	0,10	1,26	1,68	2,10	3,36	4,5	6,7	7,8	0,73	0,97	1,21	1,94	2,6	3,9	4,5	0,58
	0,12	1,22	1,63	2,04	3,26	4,4	6,5	7,6	0,82	1,09	1,37	2,19	3,0	4,6	5,1	0,67
	0,14	1,19	1,58	1,98	3,17	4,3	6,3	7,4	0,91	1,21	1,51	2,42	3,3	4,8	5,6	0,76
M5	0,08	2,12	2,83	3,54	5,67	7,6	11,1	13,0	1,2	1,65	2,06	3,3	4,4	6,5	7,6	0,58
	0,10	2,06	2,74	3,43	5,48	7,4	10,8	12,7	1,4	1,9	2,4	3,8	5,2	7,6	8,9	0,70
	0,12	2,00	2,67	3,33	5,33	7,2	10,6	12,4	1,6	2,2	2,7	4,3	5,9	8,6	10,0	0,81
	0,14	1,94	2,59	3,23	5,18	7,0	10,3	12,0	1,8	2,4	3,0	4,8	6,5	9,5	11,2	0,93
M6	0,08	3,00	4,01	5,01	8,02	10,7	15,7	18,4	2,1	2,8	3,6	5,7	7,7	11,3	13,2	0,72
	0,10	2,90	3,87	4,84	7,74	10,4	15,3	17,9	2,5	3,3	4,1	6,6	9,0	13,2	15,4	0,86
	0,12	2,82	3,76	4,71	7,53	10,2	14,9	17,5	2,8	3,7	4,7	7,5	10,1	14,9	17,4	0,99
	0,14	2,74	3,65	4,57	7,31	9,9	14,5	17,0	3,1	4,1	5,2	8,3	11,3	16,5	19,3	1,14
M8	0,08	5,4	7,3	9,1	14,6	19,5	28,7	33,6	5,2	6,9	8,6	13,8	18,5	27,2	31,8	0,95
	0,10	5,3	7,1	8,8	14,2	19,1	28,0	32,8	6,0	8,0	10,0	16,1	21,6	31,8	37,2	1,13
	0,12	5,15	6,9	8,6	13,8	18,6	27,3	32,0	6,8	9,1	11,3	18,2	24,6	36,1	42,2	1,32
	0,14	5,0	6,7	8,3	13,4	18,1	26,6	31,1	7,5	10,1	12,6	20,1	27,3	40,1	46,9	1,51

Precargas y pares de apriete

Rosca	Coeficiente de fricción $\mu_K = \mu_G$	Fuerza de tensión previa máxima $F_{M\text{ máx.}}$ [kN]							Par de apriete máximo $M_{A\text{ máx.}}$ [Nm]							Factor de conversión X
		Clases de resistencia según ISO 898/1							Clases de resistencia según ISO 898/1							
		3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	
M10	0,08	8,7	11,6	14,5	23,2	31,0	45,6	53,3	10,2	13,6	17,0	27,2	36	53	62	1,16
	0,10	8,4	11,3	14,1	22,5	30,3	44,5	52,1	12	16,1	20,1	32,3	43	63	73	1,42
	0,12	8,2	11,0	13,7	21,9	29,6	43,4	50,8	13,7	18,3	22,9	36,5	48	71	83	1,65
	0,14	8,0	10,7	13,3	21,3	28,8	42,2	49,4	15,2	20,3	25,3	40,6	54	79	93	1,89
M12	0,08	12,7	16,9	21,1	33,8	45,2	66,3	77,6	17	23	29	47	63	92	108	1,39
	0,10	12,3	16,4	20,5	32,8	44,1	64,8	75,9	20	27	34	55	73	108	126	1,65
	0,12	12,0	16,0	20,0	32,0	43,0	63,2	74,0	23	31	39	62	84	123	144	1,94
	0,14	11,6	15,5	19,4	31,1	41,9	61,5	72,0	26	34	43	69	93	137	160	2,22
M14	0,08	17,4	23,2	29,0	46,4	62,0	91,0	106,5	28	37	46	74	100	146	171	1,60
	0,10	16,9	22,5	28,2	45,1	60,6	88,9	104,1	33	44	55	88	117	172	201	1,94
	0,12	16,5	21,9	27,4	43,9	59,1	86,7	101,5	37	50	62	100	133	195	229	2,26
	0,14	16,0	21,3	26,7	42,7	57,5	84,4	98,9	41	55	69	111	148	218	255	2,58
M16	0,08	23,8	31,7	39,7	63,5	84,7	124,4	145,5	42	57	71	114	153	224	262	1,80
	0,10	23,2	30,9	38,6	61,8	82,9	121,7	142,4	50	67	84	134	180	264	309	2,17
	0,12	22,6	30,1	37,6	60,2	80,9	118,8	139,0	57	76	96	153	206	302	354	2,54
	0,14	22,0	29,3	36,6	58,6	78,8	115,7	135,4	64	85	107	171	230	338	395	2,92
M18	0,08	29,1	38,8	48,5	77,6	107	152	178	60	80	100	160	220	314	367	2,06
	0,10	28,2	37,7	47,1	75,3	104	149	174	70	93	117	187	259	369	432	2,48
	0,12	27,5	36,7	45,8	73,4	102	145	170	80	106	133	212	295	421	492	2,90
	0,14	26,7	35,7	44,6	71,3	99	141	165	89	118	148	236	329	469	549	3,32
M20	0,08	37,2	49,6	62,0	99,2	136	194	227	83	111	139	223	308	438	513	2,26
	0,10	36,2	48,3	60,3	96,5	134	190	223	98	131	164	262	363	517	605	2,71
	0,12	35,3	47,0	58,8	94,1	130	186	217	112	150	187	300	415	592	692	3,18
	0,14	34,3	45,8	57,2	91,6	127	181	212	125	167	209	334	464	661	773	3,65
M22	0,08	46,3	61,7	77,2	123,5	170	242	283	113	151	189	303	417	595	696	2,46
	0,10	45,1	60,1	75,2	120,3	166	237	277	132	176	220	353	495	704	824	2,95
	0,12	44,0	58,7	73,4	117,4	162	231	271	151	202	252	403	567	807	945	3,46
	0,14	42,9	57,1	71,4	114,3	158	225	264	172	225	284	454	634	904	1057	3,97
M24	0,08	53,6	71,4	89,3	142,9	196	280	327	144	192	240	385	529	754	882	2,70
	0,10	52,1	69,5	86,9	139,0	192	274	320	170	222	280	450	625	890	1041	3,25
	0,12	50,8	67,7	84,7	135,5	188	267	313	193	257	322	515	714	1017	1190	3,80
	0,14	49,4	65,9	82,4	131,8	183	260	305	215	287	359	574	798	1136	1329	4,36
M27	0,08	70,2	93,6	117,0	187,2	257	367	429	210	280	351	561	772	1100	1287	3,00
	0,10	68,4	91,2	114,0	182,4	252	359	420	248	331	414	662	915	1304	1526	3,63
	0,12	66,7	89,0	111,2	178,0	246	351	410	284	379	474	759	1050	1496	1750	4,26
	0,14	65,0	86,7	108,3	173,3	240	342	400	318	424	530	848	1176	1674	1959	4,89
M30	0,08	85,5	114,0	142,5	228,0	313	446	522	287	383	478	766	1053	1500	1755	3,36
	0,10	83,2	111,0	138,7	222,0	307	437	511	338	450	563	901	1246	1775	2077	4,06
	0,12	81,2	108,3	135,3	216,5	300	427	499	386	515	644	1031	1428	2033	2380	4,76
	0,14	79,0	105,3	131,7	210,8	292	416	487	431	575	719	1151	1597	2274	2662	5,46
M33	0,08	106,1	141,5	176,9	283,1	389	554	649	385	514	643	1029	1415	2015	2358	3,64
	0,10	103,5	138,0	172,5	276,0	381	543	635	456	608	760	1216	1679	2392	2799	4,41
	0,12	101,0	134,7	168,4	269,4	373	531	621	523	697	871	1395	1928	2747	3214	5,17
	0,14	98,4	131,2	164,0	262,5	363	517	605	585	780	975	1560	2161	3078	3601	5,95
M36	0,08	124,8	166,4	208,0	332,8	458	652	763	497	663	829	1327	1825	2600	3042	3,99
	0,10	121,6	162,1	202,7	324,3	448	638	747	587	783	979	1566	2164	3082	3607	4,83
	0,12	118,7	158,2	197,8	316,4	438	623	729	672	897	1121	1793	2482	3535	4136	5,67
	0,14	115,6	154,1	192,6	308,1	427	608	711	752	1002	1253	2005	2778	3957	4631	6,51
M39	0,08	149,5	199,4	249,2	398,8	548	781	914	640	854	1067	1708	2348	3345	3914	4,28
	0,10	145,9	194,5	243,1	389,0	537	765	895	758	1011	1264	2022	2791	3975	4652	5,20
	0,12	142,4	189,9	237,4	379,8	525	748	875	870	1160	1450	2321	3208	4569	5346	6,11
	0,14	138,8	185,0	231,3	370,0	512	729	853	974	1299	1624	2598	3597	5123	5994	7,02

Valores de referencia para roscas finas VDI 2230

Indicaciones sobre la base de VDI 2230, edición de 2015 fuerzas de tensión previa/pares de apriete para destornilladores clase de resistencia 8.8 a 12.9 con un aprovechamiento del 90 % del límite elástico $R_{p0,2}$.

La tabla no considera la seguridad y presupone el conocimiento de los criterios de diseño.

Rosca	Coeficiente de fricción $\mu_K = \mu_G$	Fuerza de tensión previa $F_{M \text{ máx.}}$ [kN]			Par de apriete $M_{A \text{ máx.}}$ [Nm]		
		Clase de resistencia según ISO 898/1			Clase de resistencia según ISO 898/1		
		8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M8x1	0,08	21,2	31,1	36,4	19,3	28,4	33,2
	0,10	20,7	30,4	35,6	22,8	33,5	39,2
	0,12	20,2	29,7	34,7	26,1	38,3	44,9
	0,14	19,7	28,9	33,9	29,2	42,8	50,1
M10x1,25	0,08	33,1	48,6	56,8	38	55	65
	0,10	32,4	47,5	55,6	44	65	76
	0,12	31,6	46,4	54,3	51	75	87
	0,14	30,8	45,2	52,9	57	83	98
M12x1,25	0,08	50,1	73,6	86,2	66	97	114
	0,10	49,1	72,1	84,4	79	116	135
	0,12	48,0	70,5	82,5	90	133	155
	0,14	46,8	68,7	80,4	101	149	174
M14x1,5	0,08	67,8	99,5	116,5	104	153	179
	0,10	66,4	97,5	114,1	124	182	213
	0,12	64,8	95,2	111,4	142	209	244
	0,14	63,2	92,9	108,7	159	234	274
M16x1,5	0,08	91,4	134,2	157,1	159	233	273
	0,10	89,6	131,6	154,0	189	278	325
	0,12	87,6	128,7	150,6	218	320	374
	0,14	85,5	125,5	146,9	244	359	420
M18x1,5	0,08	122	174	204	237	337	394
	0,10	120	171	200	283	403	472
	0,12	117	167	196	327	465	544
	0,14	115	163	191	368	523	613
M20x1,5	0,08	154	219	257	327	466	545
	0,10	151	215	252	392	558	653
	0,12	148	211	246	454	646	756
	0,14	144	206	241	511	728	852
M22x1,5	0,08	189	269	315	440	627	734
	0,10	186	264	309	529	754	882
	0,12	182	259	303	613	873	1022
	0,14	178	253	296	692	985	1153
M24x2	0,08	217	310	362	557	793	928
	0,10	213	304	355	666	949	1110
	0,12	209	297	348	769	1095	1282
	0,14	204	290	339	865	1232	1442

Explicaciones sobre el coeficiente de fricción μ
Página F.049

Pernos roscados con vástago de dilatación

(DIN 2510 L hoja 3) de acero 21 CrMo V 5 7

Valores de referencia para fuerzas de tensión previa de montaje y pares de apriete con el 70 % del límite elástico mínimo (límite 0,2)

Rosca normal	M12		M16		M20		M24	
Ø perno	8,5	8,5	12	12	15	15	18	18
$\mu_K = \mu_G$	0,10	0,12	0,10	0,12	0,10	0,12	0,10	0,12
F_M [N]	21 600	21 600	43 500	43 500	67 800	67 800	97 800	97 800
M_A [Nm]	38	44	98	115	190	220	320	370

Pares de apriete para tornillos de plástico / Poliamida 6.6 y poliamida 6.6-GF50
según DIN 34810: 2018-04

Valores de referencia para pares de apriete adecuados para tornillos de poliamida 6.6 (PA6.6 + PA6.6-GF50) a 20 °C tras almacenamiento en clima normal (humedad relativa del aire según DIN 50014) hasta el ajuste del equilibrio de la humedad.

Pares de apriete para tornillos de PA6.6						
Rosca	M3	M4	M5	M6	M8	M10
M _A [Nm]	0,1	0,25	0,5	0,8	1,8	3,5

Para no superar los pares de apriete indicados en la tabla, se recomienda un valor máximo de revoluciones de la herramienta de atornillado de 150 r.p.m.

Pares de apriete para tornillos de PA6.6-GF50			
Rosca	M5	M6	M8
M _A [Nm]	0,75	1,75	4,0

Pares de apriete (valores de referencia) para tornillos de latón (CU2)

Rosca	M2	M2,5	M3	M3,5	M4	M5	M6	M8	M10
M _A [Nm]	0,13	0,27	0,48	0,8	1,1	2,2	3,7	9,1	18,3

Tornillos de aceros inoxidables austeníticos A1 / A2 / A4

Precargas y pares de apriete (rosca normal métrica) para tornillos de vástago de la clase de resistencia 50/70/80 con un **aprovechamiento del 90% del límite elástico R_{p0,2}**.

Rosca	$\mu_K = \mu_G$	Carga previa F _{M máx.} [kN]			Par de apriete M _{A máx.} [Nm]		
		Clase de resistencia			Clase de resistencia		
		50	70	80	50	70	80
M1,6	0,1	0,21	0,45	0,6	0,05	0,11	0,15
	0,2	0,18	0,39	0,5	0,08	0,17	0,22
	0,3	0,15	0,33	0,44	0,09	0,2	0,27
M2	0,1	0,35	0,74	1	0,11	0,23	0,30
	0,2	0,3	0,64	0,85	0,16	0,35	0,46
	0,3	0,25	0,55	0,7	0,2	0,43	0,57
M2,5	0,1	0,58	1,23	1,64	0,22	0,46	0,62
	0,2	0,5	1,06	1,42	0,34	0,72	0,97
	0,3	0,42	0,9	1,21	0,42	0,89	1,19
M3	0,1	0,86	1,84	2,5	0,37	0,8	1,1
	0,2	0,75	1,6	2,12	0,59	1,26	1,7
	0,3	0,64	1,36	1,81	0,73	1,56	2,1
M4	0,1	1,5	3,2	4,2	0,86	1,85	2,4
	0,2	1,3	2,76	3,6	1,35	2,9	3,8
	0,3	1,1	2,35	3,1	1,66	3,6	4,7
M5	0,1	2,4	5,2	6,9	1,6	3,6	4,8
	0,2	2,1	4,51	6	2,6	5,7	7,6
	0,3	1,8	3,85	5,1	3,3	7	9,4
M6	0,1	3,4	7,3	9,7	2,9	6,3	8,4
	0,2	3	6,4	8,4	4,6	10	13,2
	0,3	2,5	5,5	7,2	5,7	12,2	16,3
M8	0,1	6,2	13,4	17,9	7,1	15,2	20,3
	0,2	5,4	11,6	15,5	11,2	24,1	32,1
	0,3	4,6	9,9	13,3	13,9	30	40
M10	0,1	9,9	21,3	28,4	14	30	39
	0,2	8,6	18,5	24,7	22,2	47,7	63
	0,3	7,4	15,8	21,1	27,6	59,3	79
M12	0,1	14,4	31	41,4	24	51	68
	0,2	12,6	27	36	38	82	109
	0,3	10,7	23	30,8	47	102	136
M14	0,1	19,8	42,6	56,8	38	82	109
	0,2	17,3	37	49,5	61	131	175
	0,3	14,8	31,7	42,3	76	163	217
M16	0,1	27,2	58	77,7	58	126	168
	0,2	23,7	51	67,9	95	204	272
	0,3	20,3	43,5	58,2	119	255	340

La tabla no contempla seguridades y presupone el conocimiento de los criterios de diseño.

Rosca	$\mu_K = \mu_G$	Carga previa F _{M máx.} [kN]			Par de apriete M _{A máx.} [Nm]		
		Clase de resistencia			Clase de resistencia		
		50	70	80	50	70	80
M18	0,1	33,2	71	94	82	176	235
	0,2	28,9	62	82	131	282	376
	0,3	24,7	53	70	164	352	469
M20	0,1	42,5	91	121	115	247	330
	0,2	37,1	79,6	106	187	401	534
	0,3	31,8	68	90	234	501	669
M22	0,1	52,9	113	151	157	337	450
	0,2	46,3	99,3	132	257	551	735
	0,3	39,7	85,2	114	323	692	923
M24	0,1	61,2	131	175	198	426	568
	0,2	53,5	115	153	322	690	920
	0,3	45,8	98	131	403	863	1151
M27	0,1	80,2	—	—	292	—	—
	0,2	70,3	—	—	478	—	—
	0,3	60,3	—	—	601	—	—
M30	0,1	97,6	—	—	397	—	—
	0,2	85,5	—	—	648	—	—
	0,3	73,3	—	—	831	—	—
M33	0,1	121	—	—	536	—	—
	0,2	106	—	—	880	—	—
	0,3	91	—	—	1108	—	—
M36	0,1	143	—	—	690	—	—
	0,2	125	—	—	1130	—	—
	0,3	107	—	—	1420	—	—
M39	0,1	171	—	—	890	—	—
	0,2	150	—	—	1467	—	—
	0,3	129	—	—	1848	—	—

Los elementos de fijación de estos aceros tienden a la corrosión durante el montaje. Este peligro se reduce mediante superficies de rosca lisas y limpias (rosca roladas), lubricante, revestimiento de laca lubricante de molicote (negro), número de revoluciones reducido del destornillador, apretado rápido sin interrupción (por lo que no es adecuado un destornillador de golpe).

Explicaciones sobre el coeficiente de fricción μ
Página F.049

La seguridad en la técnica de unión exige la especificación correcta del estado de lubricación

El coeficiente de fricción se ve influido principalmente por el emparejamiento de materiales, las superficies de contacto y su estado de lubricación. El conocimiento del coeficiente de fricción es un requisito para la seguridad en el montaje con la relación «momento de torsión-precarga».

La aparición de corrosión en la rosca o las superficies de contacto merman el comportamiento de desatornillado después de un determinado tiempo de funcionamiento. El emparejamiento de materiales diferentes, las elevadas temperaturas de servicio y la humedad intensifican el agarrotamiento y dificultan el montaje o desmontaje.

Para un montaje seguro para el proceso se recomienda la lubricación con revestimientos en seco tribológicos

El revestimiento en seco tribológico es una solución de sistema para elementos de fijación y componentes sometidos a carga mecánica (tornillos, tuercas, arandelas). El revestimiento es un revestimiento fino aplicado de manera electrolítica con propiedades lubricantes integradas y protección adicional contra la corrosión.

Los Anti-Friction-Coatings son barnices de laca lubricante antideslizante, equiparables a las lacas industriales convencionales en cuanto a su formulación. Por ejemplo, **CresaCoat®**, como solución económica, garantiza coeficientes de fricción constantes y contribuye a una simplificación adicional de los procesos de montaje.

Elementos de fijación con hexágono interior y accionamiento hexalobular interior con cabezas bajas

Valores de referencia para pares de apriete reducidos M_A [Nm]

Estándar	ISO 7379	DIN 6912	DIN 7984	Bossard	Bossard	ISO 14580	ISO 14583	~ISO 14583	ISO 7380-1	~ISO 7380-1
Tornillo tipo										
Acero	012.9 BN 1359	08.8 BN 15 BN 20737	08.8 BN 16 BN 17	010.9 BN 1206 BN 20697 BN 20698	08.8 BN 9524	08.8 BN 4850	08.8 BN 20005	08.8 BN 20228 BN 84405	010.9 BN 19 BN 13255 BN 30102	08.8 BN 6404
M2	–	–	–	0,22	0,19	0,25	0,25	–	0,27	0,25
M2,5	–	–	–	0,45	0,4	0,5	0,5	–	0,6	0,5
M3	–	1	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9	0,9	0,95	0,9
M3,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M4	–	2,3	2,1	1,95	1,6	2	2	2	2,3	2
M5	5,2	4,6	4	3,8	3,2	4	4	4	4,6	4
M6	9	8,1	7,2	6,6	5,4	7,2	7,2	7,2	8	7,2
M8	21,6	19,4	17,3	16	13	17	17	–	19	17,3
M10	43	38,7	34,4	32	23	34	34	–	38	34,5
M12	73	65	58	–	–	–	–	–	65	58
M14	–	105	–	–	–	–	–	–	–	–
M16	180	162	144	–	–	–	–	–	–	–
M20	363	330	290	–	–	–	–	–	–	–
M22	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M24	–	560	500	–	–	–	–	–	–	–
INOX		A2/A4 BN 33001 BN 1350	A2 BN 2844		A2 BN 20146	A2 BN 15857	A2/A4 BN 5687 BN 20038		A2/A4 BN 1593 BN 6971 BN 8699	
M2	–	–	–	–	0,14	0,19	0,19	–	0,19	–
M2,5	–	–	–	–	0,28	0,37	0,37	–	0,37	–
M3	–	–	0,6	–	0,5	0,64	0,64	–	0,64	–
M3,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M4	–	1,5	1,3	–	1,1	1,5	1,5	–	1,5	–
M5	–	2,9	2,6	–	2,2	3	3	–	3	–
M6	–	5	4,5	–	3,8	5	5	–	5	–
M8	–	12	10	–	9,1	12	12	–	12	–
M10	–	24	21	–	18	24	24	–	24	–
M12	–	40	36	–	–	–	–	–	40	–
M14	–	65	–	–	–	–	–	–	–	–
M16	–	100	90	–	–	–	–	–	–	–
M20	–	200	180	–	–	–	–	–	–	–
M22	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M24	–	340	310	–	–	–	–	–	–	–

➤ Resistencia a la carga reducida
Página F.058

! Comprobar las condiciones límite!

Los tornillos no son adecuados para fuerzas de servicio elevadas. El efecto interior y exterior que ejercen estos tornillos sólo permite el uso de pares de apriete reducidos.

! Resistencia a la carga reducida

Los tornillos según la presente especificación están sujetos a una capacidad de carga menor debido a la geometría de su cabeza y/o a la forma de accionamiento según ISO 898-1, lo que significa que se tienen que tener en cuenta los pares de apriete reducidos.

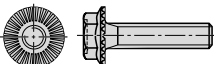
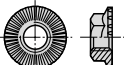
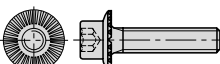
Los pares de apriete indicados no siempre podrán aplicarse de un modo seguro para el proceso en función de la selección del accionamiento interior. En este caso pueden ser de ayuda puntas cónicas especiales.

Valores de referencia para pares de apriete reducidos M _A [Nm]											
Norma	Bossard ~ISO7380-2	Bossard ~ISO7380-2	ecosyn®-fix	ecosyn®-fix	SN 213307	ISO 14583	DIN 7991 ISO 10642	DIN 7991 ISO 10642	ISO 14581	ecosyn®-fix	DIN/ISO
Tornillo tipo											     DIN 913/ISO 4026 DIN 34827 FL DIN 914/ISO 4027 DIN 915/ISO 4028 DIN 916/ISO 4029 DIN 34827 CP
Acero	08.8 BN 20367	010.9 BN 11252 30104	4.8 BN 5128	4.8 BN 4825	4.8 BN 380 381	4.8 BN 30503	08.8 BN 30105 2100	010.9 BN 20 21 1422 2101 2102 2103	08.8 BN 4851	4.8 BN 5950	45 H ¹⁾ Diversos
M2,5	–	–	0,4	0,3	0,3	–	0,5	0,55	0,5	–	–
M3	1	1	0,7	0,5	0,5	0,7	0,9	0,95	0,9	0,5	0,5
M4	2,5	2,5	1,6	1,2	1,2	1,6	2	2,3	2	1,2	1,5
M5	5	5	3,2	2,4	2,4	3,2	4	4,6	4	2,4	3
M6	8	8	5,4	4	4	5,4	7,2	7,9	7,2	4,1	5
M8	20	20	–	–	–	–	17	19	17	10	12
M10	40	40	–	–	–	–	35	38	35	20	24
M12	66	66	–	–	–	–	58	65	58	34	40
M14	–	–	–	–	–	–	93	100	93	–	60
M16	–	–	–	–	–	–	144	158	144	–	100
M18	–	–	–	–	–	–	–	220	205	–	120
M20	–	–	–	–	–	–	–	310	290	–	180
M22	–	–	–	–	–	–	–	420	400	–	210
M24	–	–	–	–	–	–	–	530	500	–	310
INOX	A2 BN 2058		A2 BN 10649	BN 5952	BN 2845		A2/A4 BN 616 4719 2104 2105	BN 3803 20039	A2 BN 5951	A2/A4 Diversos	
M2,5	–	–	0,5	0,4	0,4	–	–	0,23	0,23	–	–
M3	0,64	–	0,8	0,8	0,8	–	–	0,4	0,4	0,8	0,2
M4	1,5	–	1,8	1,6	1,6	–	–	0,9	0,9	1,8	0,7
M5	3,0	–	3,6	3,2	3,2	–	–	1,8	1,8	3,6	1,5
M6	5,0	–	6,3	6	6	–	–	3,1	3,1	6,3	2,5
M8	12,0	–	–	–	–	–	–	7,6	7,6	15,2	6
M10	–	–	–	–	–	–	–	15	15	30	12
M12	–	–	–	–	–	–	–	25	25	51	20
M14	–	–	–	–	–	–	–	40	40	–	30
M16	–	–	–	–	–	–	–	63	63	–	50
M18	–	–	–	–	–	–	–	85	85	–	90
M20	–	–	–	–	–	–	–	120	120	–	105
M22	–	–	–	–	–	–	–	160	160	–	150
M24	–	–	–	–	–	–	–	200	200	–	–

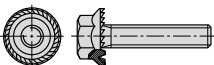
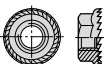
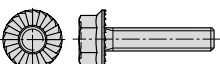
¹⁾ La clase de resistencia y las propiedades mecánicas según ISO 898 parte 5, solamente son válidos para tornillos sin cabeza que no estén sometidos a tracción

Tornillos con valona y tuercas con valona

Pares de apriete M_A [Nm] y precargas alcanzables F_M [kN] para tuercas y tornillos VERBUS RIPP® y para tornillos INBUS RIPP®, con un uso del 90% del límite de elongación $R_{p0,2}$

Valona dentada	Material del componente	Coefficiente de fricción $\sim\mu_{tot}$	Pares de apriete M_A [Nm]						
			M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
Descripción Clase de resistencia	Acero $R_m \geq 800 \text{ N/mm}^2$	0,13 – 0,16	10	18	37	80	120	215	310
VERBUS RIPP® BN 2797, BN 9727 Clase de resistencia 100 	Acero $R_m < 800 \text{ N/mm}^2$	0,12 – 0,18	11	19	42	85	130	230	330
	Fundición de hierro gris $R_m \sim 150 - 450 \text{ N/mm}^2$	0,125 – 0,16	9	16	35	75	115	200	300
	Aleación de aluminio blando, no endurecido	0,14 – 0,2	16	28	65	120	190	320	450
	Aleación de aluminio duro, endurecido	0,13 – 0,18	14	25	55	100	160	275	400
	~Precarga F_M [kN]¹⁾								
BN 2798, BN 14527 Clase de resistencia 10 									
INBUS RIPP® BN 3873 Clase de resistencia 100 	Acero $R_m \geq 800 \text{ N/mm}^2$	0,13 – 0,16	11	20	42	85	140		
	Acero $R_m < 800 \text{ N/mm}^2$	0,12 – 0,18	13	24	45	90	150		
	Fundición de hierro gris $R_m \sim 150 - 450 \text{ N/mm}^2$	0,125 – 0,16	10	19	39	80	120		
	~Precarga F_M [kN]¹⁾								

Pares de apriete M_A [Nm] y precargas alcanzables F_M [kN] para tuercas y tornillos VERBUS TENSILOCK®, con un uso del 90% del límite de elongación $R_{p0,2}$

Valona dentada en los bordes exteriores	Material del componente	Coefficiente de fricción $\sim\mu_{tot}$	Pares de apriete M_A [Nm]						
			M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
Descripción Clase de resistencia	Acero $R_m \sim 500 - 900 \text{ N/mm}^2$	0,14 – 0,18	9,5	16,5	40	79	137	218	338
VERBUS TENSILOCK® BN 73 Clase de resistencia 90 	Fundición de hierro gris $R_m \sim 150 - 450 \text{ N/mm}^2$	0,12 – 0,18	7,6	13,2	31,8	63	108	172	264
	Aleación de aluminio blando, no endurecido	0,16 – 0,24	10,5	18,2	44	87	150	240	372
	~Precarga F_M [kN]¹⁾								
BN 190, BN 30312, BN 20230, BN 80014 Clase de resistencia 8 									
Tornillos de cabeza hexagonal con collar biselado y dentellado BN 20170, BN 20226, BN 80007 Clase de resistencia 8.8 	Acero $R_m \sim 500 - 900 \text{ N/mm}^2$	0,12 – 0,18	6,5	11,3	27,3	54	93	148	230
	Fundición de hierro gris $R_m \sim 150 - 450 \text{ N/mm}^2$	0,12 – 0,16	5,9	10,1	24,6	48	84	133	206
	Aleación de aluminio blando, no endurecido	0,14 – 0,2	7,8	13,6	32,7	65	112	178	276
	~Precarga F_M [kN]¹⁾								

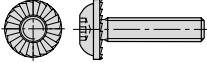
¹⁾ Valores de referencia para tornillos en bruto de acero con una resistencia a la tracción $\leq 800 \text{ N/mm}^2$

Montaje

Los valores de guía para precargas alcanzables se deberían comprobar mediante pruebas de campo.

Precargas y pares de apriete

Pares de apriete M_A [Nm] y precargas alcanzables F_M [kN] para tornillos ecosyn®-grip, con un uso del 90 % del límite de elongación $R_{p0,2}$

Superficie dentada bajo la cabeza	Material del componente	Coeficiente de fricción $\sim\mu_{tot}$	Pares de apriete M_A [Nm]			
			M5	M6	M8	M10
Descripción Clase de resistencia	Acero $R_m \sim 500 - 900 \text{ N/mm}^2$	0,15 – 0,20	8,5	15	29	67
 ecosyn®-grip BN 219 Clase de resistencia 8.8	Fundición de hierro gris $R_m \sim 150 - 450 \text{ N/mm}^2$	0,11 – 0,25	10	17	21	47
	Aleación de aluminio blando, no endurecido	0,22 – 0,40	17	29	36	87
	Aleación de aluminio duro, endurecido	0,19 – 0,35	14	25	33	76
	$\sim$ Precarga F_M [kN] ¹⁾					
			7	9,9	18,1	28,8

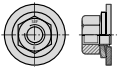
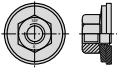
¹⁾Valores de referencia para tornillos en bruto de acero con una resistencia a la tracción $\leq 800 \text{ N/mm}^2$

! Montaje

Los valores de guía precargas previas alcanzables se deberían comprobar mediante pruebas de campo.

Pares de apriete ecosyn®-SEF

Pares de apriete M_A [Nm] y precargas alcanzables F_M [kN] para tuercas ecosyn®-SEF, con un uso del 90 % del límite de elongación $R_{p0,2}$

Descripción tuerca	Material del tornillo	Coeficiente de fricción $\sim\mu_{tot}$	Pares de apriete M_A [Nm]					
			M4	M5	M6	M8	M10	M12
Clase de resistencia	Acero clase 8.8	0,14 – 0,24	3,3	6,5	11,3	27,3	54	93
 ecosyn®-SEF BN 33855 (Tipo-L) Clase de resistencia 8			$\sim$ Precarga F_M [kN] ¹⁾					
			4,3	7	9,9	18,1	28,8	41,9
 ecosyn®-SEF BN 33966 (Tipo-M) Clase de resistencia 8								

¹⁾Valores de referencia de precarga alcanzable F_M [kN] con elementos de fijación en bruto

! Montaje

Los valores de guía precargas previas alcanzables se deberían comprobar mediante pruebas de campo.

Valores de referencia de par de apriete para arandelas de autobloqueo NORD-LOCK®

Los pares de apriete recomendados se basan en ensayos de laboratorio y deben comprobarse para cada aplicación específica antes de su uso. Bajo ciertas condiciones prácticas se pueden conseguir coeficientes de fricción más pequeños.

Valores de referencia para pares de apriete según la norma ISO 16047 basados en pasta de grafito Molykote® 1000 para arandelas NORD-LOCK® con recubrimiento de láminas de zinc en conjunto con tornillos 8.8, 10.9, 12.9, y aceros austeníticos

NORD-LOCK®							
Clase de resistencia	Tipo de lubricante	Coeficientes de fricción					
	En la rosca y bajo la cabeza	μRosca mín.	μRosca máx.	μCabeza mín.	μCabeza máx.	μtot. mín.	μtot. máx.
8.8	Molykote® 1000	0,10	–	0,13	–	0,12	0,20
10.9	Molykote® 1000	0,10	–	0,11	–	0,11	0,18
12.9	Molykote® 1000	0,10	–	0,10	–	0,11	0,17
A2-70, A4-70 A2-80, A4-80	Molykote® 1000	0,10	–	0,08	–	0,10	0,16

NORD-LOCK®													
Clase de resistencia	Material de componente	Tipo de lubricante	Coeficiente de rozamiento μ tot.	M5x0,8	M6x1	M8x1,25	M10x1,5	M12x1,75	M16x2	M20x2,5	M24x3	M27x3	M30x3,5
		En la rosca y bajo la cabeza											
8.8	Acero Rm < 800 N/mm²	Molykote® 1000	0,12 hasta 0,20	Par de apriete M _{A máx} [Nm]									
				5,9	10,1	24,6	48	84	206	415	714	1050	1420
				Máx. fuerza de precarga F _M [kN]									
10.9	Acero Rm ≥ 800 N/mm²	Molykote® 1000	0,11 hasta 0,18	7,2	10,2	18,6	29,6	43	81	130	188	246	300
				Par de apriete M _{A máx} [Nm]									
				8,1	14	33,9	66,8	115	283	554	953	1400	1900
12.9	Acero Rm ≥ 800 N/mm²	Molykote® 1000	0,11 hasta 0,17	Máx. fuerza de precarga F _M [kN]									
				10,7	15,2	27,7	44	64,1	120	188	270	355	432
				Par de apriete M _{A máx} [Nm]									
A2-70 A4-70	Acero austenítico 100 - 200 HV	Molykote® 1000	0,10 hasta 0,16	9,4	16,4	39,7	78,2	134,9	331	648	1120	1640	2230
				Máx. fuerza de precarga F _M [kN]									
				12,5	17,7	32,4	51,5	75	141	220	317	416	506
A2-80 A4-80	Acero austenítico 200 - 300 HV	Molykote® 1000	0,10 hasta 0,16	Par de apriete M _{A máx} [Nm]									
				3,6	6,3	15,2	29,9	51,6	126	247	425	623	848
				Máx. fuerza de precarga F _M [kN]									
A2-80 A4-80	Acero austenítico 200 - 300 HV	Molykote® 1000	0,10 hasta 0,16	5,2	7,3	13,4	21,3	31,1	58,3	91,1	131	172	209
				Par de apriete M _{A máx} [Nm]									
				4,8	8,4	20,2	39,9	68,7	169	330	567	831	1131
A2-80 A4-80	Acero austenítico 200 - 300 HV	Molykote® 1000	0,10 hasta 0,16	Máx. fuerza de precarga F _M [kN]									
				6,9	9,8	17,9	28,5	41,4	77,7	121	175	229	279
				Máx. fuerza de precarga F _M [kN]									

La fuerza de precarga de montaje y el par de apriete se basan en las condiciones siguientes:

- Tornillos de cabeza hexagonal según las normas ISO 4014 o ISO 4017
- Tornillos cilíndricos según la norma ISO 4762
- Agujero según la norma ISO 273
- $v = 0,9$ para tornillos sin cabeza con rosca métrica normalizada según las normas ISO 68 o ISO 724

La dispersión del par de apriete ejercido, que varía en función del método de apriete seleccionado, debe tenerse en cuenta al establecer el par de apriete ejercido.

Los datos expuestos son valores de referencia que dependen del estado inicial del material, un propósito específico y su uso en estado lubricado.

En función del tipo de esfuerzo mecánico y dinámico, las condiciones de las superficies varían dependiendo de la temperatura,

presión y velocidad de montaje y pueden influir en las relaciones de rozamiento de los componentes.

Los valores de rozamiento según la norma ISO 16047 para tornillos engrasados con MOLYKOTE® 1000 se basan en el primer atornillado y en los fundamentos de la norma VDI 2230 (VDI: Asociación Alemana de Ingenieros) siempre que la superficie de la rosca interior coincida con la superficie del tornillo. Los valores de fricción deben revisarse siempre en el resto de combinaciones de superficies.

En algunas aplicaciones inusuales en las que los componentes fijados presentan una dureza mayor y una rugosidad de superficie menor, dichos componentes pueden resbalar contra la pieza fija durante el apriete y reducir el coeficiente de rozamiento (μ cabeza).

Exención de responsabilidad

Los valores de pares de apriete indicados en esta guía han sido verificados en laboratorios de ensayo y se entienden como ejemplos de configuración. La guía pretende servir de ayuda para calcular los pares de apriete y, por lo tanto, debe utilizarse únicamente en este sentido. Todos los cálculos basados en la información proporcionada en esta guía deben comprobarse y someterse a ensayo antes de su utilización. Nord-Lock International AB y nuestras filiales no asumen responsabilidad alguna por trabajos o construcciones cuyos cálculos se hayan basado en la presente guía.

El contenido de esta documentación no debe interpretarse como una autorización ni una invitación a violar derechos de patente ni de marca de NORD-LOCK®. www.nord-lock.com.

Torquelator de Nord-Lock

La «calculadora online» calcula la fuerza de precarga y el par de apriete correspondiente para conexiones roscadas aseguradas con arandelas de bloqueo por cuña de Nord-Lock. Seleccione uno de los dos métodos de cálculo (Kellermann & Klein o VDI 2230), el tamaño del tornillo (unidades métricas o imperiales), la clase de dureza y el lubricante para obtener el par de apriete.



Pernos estructurales de alta resistencia para construcciones metálicas (conjunto HV)

Con la entrada en vigor del Reglamento sobre Productos de Construcción 305/2011, ahora es indispensable dotar de **una declaración de prestaciones al mercado CE** para los productos de construcción especificados. El reglamento (BauPVO) sustituye con ello a la anterior directiva (**Directiva 89/106/CEE**). La Norma EN 1090 sustituye a la Norma DIN 18800-7 para la verificación de estructuras de acero, así como a las normas sobre la aptitud del fabricante. La Norma EN 1090 establece los requisitos para el certificado de conformidad de las estructuras de acero que se ponen en circulación como productos de construcción.

Los requisitos específicos de los elementos de unión están reglamentados por las normas EN 15048 y EN 14399 **para carpintería y estructuras metálicas**. Debe ponerse de relieve que el marcado CE es de obligado cumplimiento sólo en caso de que los elementos de unión se empleen en una obra de construcción con el fin de permanecer

allí largo tiempo y cuando influyan en gran medida sobre los requisitos básicos de dicha obra. En el momento de solicitar/encargar elementos de unión acompañados de requisito específicos de la ingeniería de la construcción, aquéllos deben estar adscritos **a la Norma armonizada** o deben llevar **la declaración de prestaciones** previa adquisición de los mismos. Las clases de resistencia de los tornillos y tuercas, y en caso necesario los estados de tratamiento de superficies, deben establecerse con todas las opciones de selección necesarias autorizadas por los reglamentos del producto en cuestión.

Los Eurocódigos (Eurocodes) se establecen como el estándar europeo en la construcción de edificios y otras obras de ingeniería. Para el cálculo de las estructuras de acero se aplica la norma EN 1993.

Categorías de uniones atornilladas de conformidad con la norma EN 1993-1-8

Uniones a cizallamineto		
Cat. A	Unión de vástago/cortante	No requiere pretensión según la Norma
Cat. B	Unión antideslizante en el estado límite de idoneidad de uso	Requiere pretensión
Cat. C	Unión antideslizante en el estado límite de capacidad de carga	Requiere pretensión

Uniones a tracción		
Cat. D	Sin pretensión	No requiere pretensión según la Norma
Cat. E	Con pretensión	Requiere pretensión

Combinación de conjuntos de uniones de alta resistencia en construcciones metálicas según EN 14399

Tipo de conjuntos de uniones atornilladas		Sistema HR				Sistema HV		Sistema HRC	
Requisitos generales		EN 14399-1							
Aptitud para la pretensión		Pruebas establecidas en la EN 14399-2 y, en caso necesario, otras adicionales que marque la norma del producto							
Tornillo y tuerca		EN 14399-3		EN 14399-7		EN 14399-4	EN 14399-8	EN 14399-10	
Identificación	Tornillo	HR8.8	HR10.9	HR8.8	HR10.9	HV10.9	HVP10.9	HRC10.9	
	Tuerca	HR8 o HR10	HR10	HR8 o HR10	HR10	HV10		HR10	HRD10
Arandela(s)		EN 14399-5 ¹⁾ o EN 14399-6		EN 14399-5 ¹⁾ o EN 14399-6		EN 14399-6		EN 14399-6	EN 14399-5 ¹⁾ o EN 14399-6
Marcado		H o HR ²⁾		H o HR ²⁾		H o HV ²⁾		H o HR ²⁾	H o HR ²⁾ o HD ³⁾

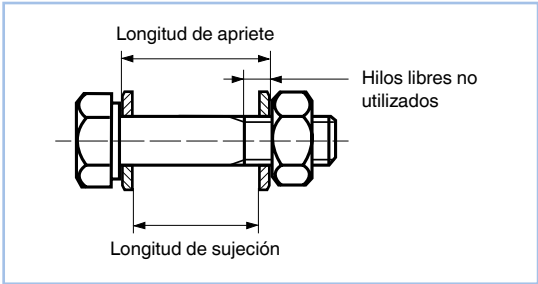
¹⁾ Las arandelas según EN 14399-5 solamente pueden ser utilizadas bajo las tuercas.
²⁾ A elección del fabricante.
³⁾ Marcado obligatorio sólo para arandelas con diámetro exterior ampliado de conformidad con la norma EN 14399-5.

Normas DIN/EN

Norma	Contenido	Medidas	Resistencia	Sustitución con
DIN 6914	Pernos de alta resistencia (HV)	M12–M36	10.9	EN 14399-4
DIN 6915	Tuercas de alta resistencia (HV)	M12–M36	10	EN 14399-4
DIN 6916	Arandelas de alta resistencia (HV), redondas	13–37	300–370 HV	EN 14399-6
DIN 6917	Arandelas cuadradas, en cuña (para perfiles en I)	13–37	295–350 HV	se mantienen
DIN 6918	Arandelas cuadradas, en cuña (para perfiles en U)	13–37	295–350 HV	se mantienen
DIN 7999	Pernos de ajuste de alta resistencia (HV)	M12–M30	10.9	EN 14399-8

Longitud de apriete

En la norma EN 14399-4 esta longitud equivale a la distancia entre la superficie de apoyo de la cabeza del tornillo y la tuerca. La distancia entre las arandelas se denomina longitud de sujeción. Se deben garantizar hilos de rosca libres suficientes. En el caso de tornillos pretensados según EN 14399-3, EN 14399-7 y EN 14399-10, debe haber al menos 4 hilos de rosca completos entre la superficie de contacto de la tuerca y el vástago del perno.



Proceso de apriete

Conjuntos para uniones atornilladas sin precarga

Los conjuntos fabricados en acero sin alea, acero aleado y acero inoxidable que se usen en uniones sin precarga deben cumplir la norma EN 15048-1.

Los conjuntos EN 14399-1 también se pueden usar en uniones sin precarga.

Conjuntos para uniones atornilladas con precarga

Las uniones estructurales de alta resistencia se clasifican según HR, HV y HRC. Éstos deben cumplir los requisitos establecidos en la norma EN 14399-1 y en la Norma Europea correspondiente. Si no se especifica lo contrario, los pernos fabricados en acero inoxidable no se deben usar en aplicaciones pretensadas. En el caso de usarse, éstos se deben tratar como elementos especiales.

Si no se especifica lo contrario, el valor nominal de precarga mínima se calculará según:
 $F_{p,C} = 0,7 \times f_{ub} \times A_s$, siendo f_{ub} la resistencia nominal del perno y A_s la sección transversal de tensión del perno.

Procedimiento de apriete para tipos k

Procedimiento de apriete	Precarga	Clase k
Proceso de par de apriete	$F_{p,C}$	K2
Proceso de pretensión combinado	$F_{p,C}$	K1 (o K2)
Proceso de pretensión modificado	F_{p,C^*}	K1

Las clases K se definen para los conjuntos HV y proporcionan información acerca del estado de fricción del conjunto. La clase K1 especifica el estado de lubricación de la tuerca como elemento fundamental del conjunto, de modo que la mínima precarga se puede alcanzar de forma segura. Por lo tanto, el apriete se debería realizar siempre en el lado de la tuerca. Las clases K y los pares de apriete para el proceso de precarga modificado según EN 1993-1-8/NA para F_{p,C^*} se especifican en el embalaje. Todos los elementos de un conjunto HV se pueden combinar con cualquier lote de fabricación y se suministran empaquetados de forma separada. Los pares de apriete y los valores de precarga se recogen en la norma EN 1993-1-8/NA.

Fuerzas de precarga y pares de apriete para uniones atornilladas HV 10.9 según las normas EN 14399-4 / EN 14399-6 – clase k K1 según EN 14399-1

Norma aplicable	Método de apriete	Características especiales
EN 1090-2	Procedimiento de par de apriete	Solo homologadas en Europa con ensayo K2 (fuera de Alemania)
EN 1090-2	Método combinado de pretensado y ángulo de torsión	Solo con K1 o K2
DIN EN 1993-1-8/NA	Método modificado de par y método combinado modificado de pretensado	Cuando los tornillos no se aprietan a plena fuerza de precarga

Procedimiento de par de apriete

Los pernos se deben apretar con un dispositivo que permita un rango de apriete adecuado. Se pueden emplear llaves dinamométricas manuales o automáticas.

Procedimiento de pretensión combinado con pares de preapriete y ángulo de rotación para la clase 10.9 de resistencia (EN 1090)

En el método combinado de pretensado para elementos de fijación estructurales de alta resistencia 10.9 y una clase k K1 según la norma EN 1090-2, para alcanzar la fuerza de precarga mínima $F_{p,C}$ se aplica en primer lugar un par de preapriete según los valores de la tabla. Este primer paso debe llevarse a cabo por completo en todos los tornillos de una unión, antes de comenzar con el segundo paso en el proceso de apriete, tras efectuar un ajuste con el ángulo de rotación.

Fuerzas de precarga y pares de apriete requeridos (EN 1090)

EN 1090-2		Diámetro de los tornillos en mm							
		12	16	20	22	24	27	30	36
Fuerza de pretensión reglamentada $F_{p,C}$	[kN]	59	110	172	212	247	321	393	572
Par de referencia (clase K1) $M_{r,1}$	[Nm]	92	229	447	606	771	1127	1533	2677
Par de preapriete = $0,75 M_{r,1}$	[Nm]	67	165	322	439	557	815	1107	1935

Ángulo de giro complementario requerido para el método combinado de pretensado en elementos de fijación estructurales de la calidad 10.9 (EN 1090)

Espesor nominal total «t» de los componentes a unir (incluidas todas las arandelas) d = diámetro de los tornillos	Ángulo a girar durante el segundo apriete
$< 2 d$	60°
$2 d \leq t < 6 d$	90°
$6 d \leq t \leq 10 d$	120°

Advertencia: En caso de que la superficie bajo la cabeza del tornillo o de la tuerca no sea perpendicular al eje del tornillo, se debería determinar el ángulo de rotación necesario mediante varios intentos.

Método modificado de par (DIN EN 1993-1-8/NA)

Por lo general, el proceso de apriete con el método modificado de par está constituido por dos pasos de apriete. En todos los tornillos de una unión se aplica un par de preapriete determinado de máx. 0,75 x par de referencia modificado antes de comenzar el segundo paso de apriete. Con el par de referencia modificado expuesto en la tabla se alcanza la fuerza de precarga efectiva $F_{p,C}$ en el segundo paso.

Método combinado modificado de pretensado (DIN EN 1993-1-8/NA)

En el método combinado modificado de pretensado, para aplicar la tensión previa efectiva $F_{p,C}$, se aplica un par de preapriete con el método de par. Este primer paso debe completarse íntegramente en todos los tornillos de una unión antes de comenzar con el ángulo de giro complementario como se indica en el segundo paso de apriete.

Fuerzas de precarga y pares de apriete requeridos (DIN EN 1993-1-8/NA)

DIN EN 1993-1-8/NA	Diámetro de los tornillos en mm							
	12	16	20	22	24	27	30	36
Fuerza de pretensión modificada $F_{p,C}$ [kN]	50	100	160	190	220	290	350	510
Par modificado de referencia (clase K1) M_A [Nm]	100	250	450	650	800	1250	1650	2800
Par de preapriete para giro complementario combinado [Nm]	75	190	340	490	600	940	1240	2100

Ángulo de giro complementario requerido para el método combinado de pretensado en elementos de fijación estructurales de calidad 10.9 (DIN EN 1993-1-8/NA)

Espesor nominal total «t» de los componentes a unir (incluidas todas las arandelas) d = diámetro de los tornillos	Ángulo a girar durante el segundo apriete
< 2 d	45°
2 d ≤ t < 6 d	60°
6 d ≤ t ≤ 10 d	90°

Advertencia: En caso de que la superficie bajo la cabeza del tornillo o de la tuerca no sea perpendicular al eje del tornillo, se debería determinar el ángulo de rotación necesario mediante varios intentos.