

Valores aproximados para coeficientes de fricción μ_T en la junta de separación según VDI 2230, edición de 2015

Emparejamiento de materiales (Por norma general: estado tras el mecanizado)	Coeficiente de fricción μ_T en estado	
	seco	lubricado
Acero – acero / fundición de acero (general)	0,1 a 0,3	0,07 a 0,12
Acero – acero; limpio	0,15 a 0,40	–
Acero – acero; endurecido	0,04 a 0,15	–
Acero – GJL	0,11 a 0,24	0,06 a 0,1
Acero – GJL; limpio	0,26 a 0,31	–
Acero – GJS	0,1 a 0,23	–
Acero – GJS; limpio	0,2 a 0,26	–
GJL – GJL	0,15 a 0,3	0,06 a 0,2
GJL – GJL; limpio / desengrasado	0,09 a 0,36	–
GJS – GJS	0,25 a 0,52	0,08 a 0,12
GJS – GJS; limpio / desengrasado	0,08 a 0,25	–
GJL – GJS	0,13 a 0,26	–
Acero – bronce	0,12 a 0,28	0,18
GJL – bronce	0,28	0,15 a 0,2
Acero – aleación de cobre	0,07 a 0,25	–
Acero – aleación de aluminio	0,07 a 0,28	0,05 a 0,18
Aluminio – aluminio	0,19 a 0,41	0,07 a 0,12
Aluminio – aluminio; limpio / desengrasado	0,10 a 0,32	–

Nota: debido a la gran variedad de factores de influencia sobre el coeficiente de fricción, solo pueden indicarse los rangos típicos. En el caso concreto, el coeficiente de fricción mínimo no debe coincidir con el límite inferior del rango correspondiente y, en caso necesario, deben realizarse revisiones experimentales. Dichas revisiones también se recomiendan en caso de tomar medidas para aumentar el coeficiente de fricción.

Valores de referencia para el factor de apriete α_A y de las fuerzas resultantes de tensión previa de montaje según VDI 2230, edición de 2015

El factor de apriete α_A (inseguridad de montaje) tiene en cuenta los errores de la estimación de los coeficientes de fricción, dispersiones de los coeficientes de fricción, el procedimiento de apriete, las tolerancias del aparato, así como los errores de manejo y las imprecisiones de lectura.

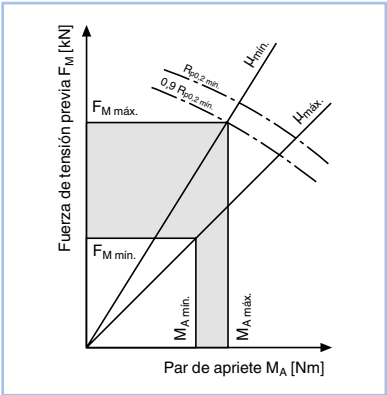
α_A tiene en cuenta, por lo tanto, la dispersión de la fuerza de presión previa de montaje alcanzable entre $F_{M \text{ máx.}}$ y $F_{M \text{ mín.}}$. El diseño del tornillo se orienta al par de apriete máximo $M_{A \text{ máx.}}$, para que el tornillo no se someta a un esfuerzo excesivo durante el montaje. El factor de apriete α_A está definido del siguiente modo:

$$\alpha_A = \frac{\text{Fuerza máxima de tensión previa posible } F_{M \text{ máx.}}}{\text{Fuerza mínima de tensión previa necesaria } F_{M \text{ mín.}}}$$

Incluso los destornilladores dinamométricos modernos suministran actualmente pares de apriete en tolerancias muy estrechas. Las dispersiones máximas del par en el rango de $\pm 2\%$ son datos habituales de los fabricantes. A pesar de ello, las fuerzas resultantes de tensión previa de montaje se dispersan en función del factor de apriete desde $\pm 9\%$ hasta $\pm 60\%$.

- Procedimiento de apriete – apriete hidráulico son prácticamente independientes de la fricción. Sus factores α_A son bajos.
- Los procedimientos de apriete controlados por el par reaccionan ante las influencias de la fricción. Los factores α_A generalmente son mayores: En los coeficientes de fricción que se hayan calculado en ensayos previos prácticos se obtienen menores dispersiones y, con ello, factores α_A más reducidos. Lo mismo sirve para casos duros de atornillado con longitudes cortas de sujeción y para procedimientos de apriete rápidos. Se producen factores α_A mayores en caso de coeficientes de

fricción estimados, de casos blandos de atornillado, así como de procedimientos de apriete que no se realicen rápidamente, como p. ej. en el caso de destornilladores de golpe, de impulsos y de montajes manuales.



Apriete, factor α_A	Dispersión $\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}} = \frac{\alpha_A - 1}{\alpha_A + 1}$	Procedimiento de apriete	Procedimiento de ajuste	Observaciones
1,1 a 1,2	$\pm 5\% \text{ a } \pm 9\%$	Apriete con control o supervisión de alargamiento mediante ultrasonido	Tiempo de propagación del sonido	– valores de calibración necesarios – en caso de $l_k/d < 2$, tener en cuenta el aumento de errores – error menor en caso de acoplamiento mecánico directo, mayor en caso de acoplamiento indirecto
1,1 a 1,3	$\pm 5\% \text{ a } \pm 13\%$	Alargamiento mecánico mediante tornillos de presión colocados en la cabeza del tornillo o en la tuerca	Especificación de alargamiento del tornillo, ajuste mediante torque de presión de los tornillos de presión	– arandela endurecida como apoyo de los tornillos de presión – desde aprox. M24
1,2 a 1,5	$\pm 9\% \text{ a } \pm 20\%$	Alargamiento mecánico mediante tuerca de varias piezas con casquillo roscado	Torque de la herramienta de apriete	– atornillamiento generalizado sin torsión – desde aprox. M30
1,1 a 1,5	$\pm 5\% \text{ a } \pm 20\%$	Apriete con medición o supervisión de alargamiento mecánico	Procedimiento directo: ajuste mediante medición de alargamiento Proceso indirecto: juego axial en el vástago de control gastado	– necesario: determinación precisa de la flexibilidad elástica axial del tornillo – dispersión en función, principalmente, de la precisión del procedimiento de medición – se requiere una calibración para valores reducidos – en caso de $l_k/d < 2$, tener en cuenta el aumento de errores
1,1 a 1,4	$\pm 5\% \text{ a } \pm 17\%$	Apriete hidráulico sin fricción ni torsión	Ajuste mediante medición de presión o alargamiento o ángulo de rotación predominante de la tuerca	– en caso de $l_k/d \geq 5$, pueden alcanzarse valores reducidos, en caso de placas y tornillos mecanizados $\alpha_A = 1,05$ – en caso de tuercas y tornillos estándar $\alpha_A \geq 1,2$ – las relaciones de longitud de sujeción inferiores provocan mayores valores α_A -Werten – se producen pérdidas de recuperación que no se tienen en cuenta en el factor de apriete – aplicación a partir de M20
1,2 a 2,0	$\pm 9\% \text{ a } \pm 33\%$	Atornillador de impulsos con celda hidráulica de impulsos, con control de torque o ángulo de giro	Ajuste mediante ángulo de rotación o torque predominante	– valores reducidos solo en caso de preajuste a unión atornillada mediante ángulo de rotación, servoválvula de aire comprimido y recuento de pulsos – en caso especial, también es posible un montaje que supere el límite elástico
1,2 a 1,4	$\pm 9\% \text{ a } \pm 17\%$	Apriete con control de límite elástico, con motor o manual	Especificación del coeficiente relativo par – ángulo de giro	La dispersión de la fuerza de tensión previa se determina fundamentalmente por la dispersión del límite elástico en el lote de tornillos montado.
1,2 a 1,4	$\pm 9\% \text{ a } \pm 17\%$	Apriete controlado por ángulo de giro, por motor o manual	Determinación experimental de torque previo y ángulo de rotación (etapas)	Los tornillos se dimensionan en este caso para $F_{M \min.}$; por ello se suprime el diseño de los tornillos para $F_{M \max.}$ con el factor de apriete α_A para estos métodos de apriete.
1,4 a 1,6	$\pm 17\% \text{ a } \pm 23\%$	Apriete con control de torque con herramienta hidráulica	Ajuste mediante medición de presión	– aprox. a partir de M30
1,4 a 1,6	$\pm 17\% \text{ a } \pm 23\%$	Apriete con control de torque con torquímetro, llave de señales o atornilladores motorizados con medición dinámica de torque	Determinación experimental de los pares de apriete nominales en la pieza de atornillamiento original, por ejemplo mediante medición de alargamiento del tornillo	valores reducidos: se requiere gran cantidad de intentos de ajuste y control (p. ej. 20); se requiere una baja dispersión del par indicado (p. ej. $\pm 5\%$) valores elevados para: – ángulo de rotación reducido, es decir, uniones relativamente rígidas – dureza relativamente reducida de la superficie opuesta – superficies opuestas que no se inclinan para un «desgaste por roca», por ejemplo, fosfatadas o bien lubricadas
1,6 a 2,0 (Clase de coeficiente de fricción B)	$\pm 23\% \text{ a } \pm 33\%$	Apriete con control de torque con torquímetro, llave de señales o atornilladores motorizados con medición dinámica de torque	Determinación del par de apriete nominal mediante estimación del coeficiente de fricción (las condiciones de superficie y lubricación ejercen una gran influencia)	valores reducidos para: torquímetro de medición en caso de apriete homogéneo para atornilladores de precisión valores elevados para: torquímetros de señalización o flexión
1,7 a 2,5 (Clase de coeficiente de fricción A)	$\pm 26\% \text{ a } \pm 43\%$			valores elevados para: – amplio ángulo de rotación, es decir, uniones relativamente elásticas como rosca fina – dureza elevada de la superficie opuesta, combinada con una superficie rugosa
2,5 a 4	$\pm 43\% \text{ a } \pm 60\%$	Apriete con atornillador de impacto, «atornillador de desconexión» o atornillador de impulsos; apriete manual	Ajuste del destornillador a través del par de apriete posterior que se forma mediante el par de apriete nominal (para el coeficiente de fricción estimado) y un suplemento; apriete manual conforme a una medición subjetiva	valores reducidos para: – gran cantidad de intentos de ajuste (par de reapriete) – sobre la rama horizontal de las características del atornillador – método de transmisión de impulsos sin juego Solo adecuado para apriete previo, en caso de apriete manual riesgo de estiramiento excesivo con M10 o inferior

^{a)} Contraposición: pieza sujeta cuya superficie está en contacto con el elemento de apriete de la fijación (cabeza del tornillo o tuerca).

Nota: En el caso concreto, son posibles factores de apriete reducidos. Estos exigen mayor esfuerzo en relación al proceso de ajuste, la calidad de la herramienta o la calidad de los elementos de sujeción y los componentes.