

## 2. PROPIEDADES MECÁNICAS

### 2.1 Bulones, tornillos y espárragos.

|  |     |
|--|-----|
| 2.1.1 Nomenclatura de las clases de calidad                            | 384 |
| 2.1.2 Características mecánicas de los bulones, tornillos y espárragos | 384 |
| 2.1.3 Marcado de los bulones, tornillos y espárragos                   | 385 |

### 2.2 Tuercas DIN, paso grueso y paso fino.

|  |     |
|--|-----|
| 2.2.1 Nomenclatura de las clases de calidad    | 386 |
| 2.2.2 Características mecánicas de las tuercas | 386 |
| 2.2.3 Marcado de las tuercas                   | 386 |

### 2.3. Tuercas ISO, paso grueso.

|  |     |
|--|-----|
| 2.3.1 Nomenclatura de las clases de calidad    | 387 |
| 2.3.2 Características mecánicas de las tuercas | 387 |
| 2.3.3 Marcado de las tuercas                   | 388 |

### 2.4. Tuercas ISO, paso fino.

|  |     |
|--|-----|
| 2.4.1 Nomenclatura de las clases de calidad    | 389 |
| 2.4.2 Características mecánicas de las tuercas | 389 |
| 2.4.3 Marcado de las tuercas                   | 390 |

### 2.5. Tuercas, especificaciones de calidad según dureza.

|  |     |
|--|-----|
| 2.5.1 Nomenclatura de las clases de calidad    | 390 |
| 2.5.2 Características mecánicas de las tuercas | 390 |
| 2.5.3 Marcado de las tuercas                   | 390 |

### 2.6. Tuercas remachables.

|  |     |
|--|-----|
| 2.6.1 Características mecánicas de las tuercas remachables | 391 |
|--|-----|

### 2.7. Relación entre la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros.

|  |     |
|--|-----|
| 2.7.1 Tablas de durezas correspondientes | 392 |
|--|-----|

### 2.8. Pares de apriete.

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 2.8.1 Tablas de pares de apriete | 393 |
| 2.8.2 Coeficientes de fricción   | 395 |

### 2.9. Dimensionado de uniones atornilladas.

|   |     |
|---|-----|
| 2.9.1 Estimación de los diámetros de los tornillos                          | 397 |
| 2.9.2 Longitud de roscado útil para agujeros ciegos                         | 397 |
| 2.9.3 Presión superficial máxima  | 398 |
| 2.9.4 Medidas para mejorar la fuerza de apriete en las uniones atornilladas | 398 |

## 2.1 BULONES, TORNILLOS Y ESPÁRRAGOS

**NORMA**

**DIN ISO:** 898 Parte 1

**ISO:** 898 Parte 1

**NF:** E 25 - 100

### Propiedades mecánicas de bulones, tornillos y espárragos en acero.

Las siguientes clases de calidad y sus características mecánicas, se aplican a los bulones, tornillos y espárragos con rosca métrica ISO, de diámetro nominal  $d \leq 39\text{mm.}$ , contruidos en acero al carbono y ensayados a temperatura ambiente. Éstas no se aplican a los tornillos sin cabeza y similares, ni con requisitos especiales como: la soldabilidad, la resistencia a la corrosión (ver DIN-267 Parte II y ISO-3506), la resistencia a temperaturas superiores a  $+300^\circ\text{C}$  o inferiores a  $-50^\circ\text{C}$  (ver DIN-267 Parte 13). Este sistema de designación de calidades puede ser utilizado para los diámetros  $d > 39\text{mm.}$  dando por hecho que, todas las exigencias mecánicas prescritas por las clases de calidad, serán debidamente respetadas.

#### 2.1.1 Nomenclatura de las clases de calidad.

Los símbolos de las clases de calidad consisten en dos cifras separadas por un punto; ejemplo: 10.9; con las cuales se indican las características mecánicas más importantes.

La primera cifra indica, en  $\text{N/mm}^2$ , un 1/100 de la resistencia nominal a la tracción, ver  $R_m$  en la tabla. Para la clase de calidad 10.9, la resistencia a la tracción es:  $10 \times 100 = 1000 \text{ N/mm}^2$ .

La segunda cifra indica, por 10, la relación entre el límite inferior de fluencia  $R_{el}$  (o límite convencional de elasticidad  $R_{p0,2}$ ) y la resistencia nominal a la tracción  $R_m$ ; entoces, para una clase de calidad 10.9, la segunda cifra 9 =  $10 \times 900/1000$ .

Y por último, la multiplicación de ambas cifras entre sí, nos da 1/10 del límite elástico en  $\text{N/mm}^2$ , siguiendo el ejemplo:  $10 \times 9 = 1/10 \times 900 \text{ N/mm}^2$ .

#### 2.1.2 Características mecánicas de los bulones, tornillos y espárragos

| Características mecánicas  |                            | Clases de calidad  |      |      |      |      |      |                   |                          |                   |                   |                   |
|--|----------------------------|--|------|------|------|------|------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|  |                            | 3.6  | 4.6  | 4.8  | 5.6  | 5.8  | 6.8  | 8.8 <sup>1)</sup> |                          | 9.8 <sup>3)</sup> | 10.9              | 12.9              |
|  |                            |  |      |      |      |      |      | d < 16 mm.        | d > 16 mm. <sup>2)</sup> |                   |                   |                   |
| Resistencia a la tracción $R_m$ <sup>4)</sup> $\text{N/mm}^2$      | nom.                       | 300  | 400  | 400  | 500  | 500  | 600  | 800               | 800                      | 900               | 1000              | 1200              |
|  | mín.                       | 330  | 400  | 420  | 500  | 520  | 600  | 800               | 830                      | 900               | 1040              | 1220              |
| Dureza Vickers HV F $\geq 98\text{N}$                              | mín.                       | 95   | 120  | 130  | 155  | 160  | 190  | 250               | 255                      | 290               | 320               | 385               |
|  | máx.                       | 250  | 250  | 250  | 250  | 250  | 250  | 320               | 335                      | 360               | 380               | 435               |
| Dureza Brinell HB F = 30 D <sup>2</sup>                            | mín.                       | 90   | 114  | 124  | 147  | 152  | 181  | 238               | 242                      | 276               | 304               | 366               |
|  | máx.                       | 238  | 238  | 238  | 238  | 238  | 238  | 304               | 318                      | 342               | 361               | 414               |
| Dureza Rockwell mín.   | HRB                        | 52   | 67   | 71   | 79   | 82   | 89   | -                 | -                        | -                 | -                 | -                 |
|  | HRC                        | -  | -    | -    | -    | -    | -    | 22                | 23                       | 28                | 32                | 39                |
| HR máx.  | HRB                        | 99,5   | 99,5 | 99,5 | 99,5 | 99,5 | 99,5 | -                 | -                        | -                 | -                 | -                 |
|  | HRC                        | -  | -    | -    | -    | -    | -    | 32                | 34                       | 37                | 39                | 44                |
| Dureza superf. HV 0,3  | máx.                       | -  | -    | -    | -    | -    | -    | 5)                | 5)                       | 5)                | 5)                | 5)                |
| Límite inferior de fluencia $R_{el}$ <sup>6)</sup> $\text{N/mm}^2$ | nom.                       | 180  | 240  | 320  | 300  | 400  | 480  | -                 | -                        | -                 | -                 | -                 |
|  | mín.                       | 190  | 240  | 340  | 300  | 420  | 480  | -                 | -                        | -                 | -                 | -                 |
| Límite convencional de elasticidad $R_p 0,2 \text{ N/mm}^2$        | nom.                       | -  | -    | -    | -    | -    | -    | 640               | 640                      | 720               | 900               | 1080              |
|  | mín.                       | -  | -    | -    | -    | -    | -    | 640               | 660                      | 720               | 940               | 1100              |
| Esfuerzo bajo carga de prueba $Sp$                                 | $Sp/R_{ef}$ o $Sp/R_p 0,2$ | 0,94   | 0,94 | 0,91 | 0,93 | 0,90 | 0,92 | 0,91              | 0,91                     | 0,90              | 0,88              | 0,88              |
|  | $\text{N/mm}^2$            | 180  | 225  | 310  | 280  | 380  | 440  | 580               | 600                      | 650               | 830               | 970               |
| Alargamiento después de la ruptura A5%                             | mín.                       | 25   | 22   | 14   | 20   | 10   | 8    | 12                | 12                       | 10                | 9                 | 8                 |
| Resistencia a la tracción bajo carga de cuña                       | mín.                       | Los valores para tornillos y bulones enteros (no los espárragos) deben ser iguales a los valores mínimos de resistencia a la tracción indicados anteriormente. |      |      |      |      |      |                   |                          |                   |                   |                   |
| Resiliencia  |                            | -  | -    | -    | 25   | -    | -    | 30                | 30                       | 25                | 20                | 15                |
| Solidez de la cabeza   |                            | No hay rotura  |      |      |      |      |      |                   |                          |                   |                   |                   |
| Altura mínima de la zona de rosca no descarburada, E               |                            | -  | -    | -    | -    | -    | -    | 1/2H <sub>1</sub> | 1/2H <sub>1</sub>        | 1/2H <sub>1</sub> | 2/3H <sub>1</sub> | 3/4H <sub>1</sub> |
| Profundidad máx. de descarburación, G                              |                            | -  | -    | -    | -    | -    | -    | 0,015             | 0,015                    | 0,015             | 0,015             | 0,015             |

## 2.1 BULONES, TORNILLOS Y ESPÁRRAGOS

- 1) Para la clase 8.8 con diámetro  $d \leq 16$  mm. existe un riesgo incrementado de arrancamiento de tuerca, en el caso de exceso de la carga de prueba. Se recomienda referirse a la ISO 898-2.
- 2) Para los bulones de construcción el límite es 12mm.
- 3) Se aplican únicamente para diámetro nominal  $d \leq 16$  mm.
- 4) Las características de tracción mínimas se aplican a los productos con una longitud nominal  $L \geq 2,5 d$ . La dureza mínima se aplica a los productos con una longitud nominal  $L < 2,5 d$ , y a otros productos que no pueden ser ensayados a tracción debido a su forma, ejemplo: por la configuración de la cabeza.
- 5) La dureza superficial no puede estar más de 30 puntos Vickers (HV 0,3) por encima de la del núcleo. Ejemplo: para la clase 10.9 la dureza superficial máxima = 390 HV.6)
- 6) En el caso de que el límite inferior de fluencia,  $R_{el}$ , no pueda ser determinado, esta permitido medir el límite convencional de elasticidad,  $R_{p0,2}$ .

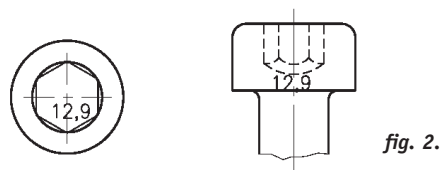


fig. 2.

- Cuando el acero martensítico con bajo contenido en carbono es utilizado en la clase 10.9, el símbolo 10.9 debe de ser subrayado: 10.9.
- Los espárragos, con un diámetro nominal  $d \geq 5$ mm. , deben ser marcados para las clases de calidad  $\geq 8.8$ . Los espárragos con rosca para montaje fijo, deben ser marcados sobre el plano de la extremidad del lado de la tuerca, ver fig. 3. Está autorizado otro método de identificación, con símbolos, tal como de representa en la fig. 4.

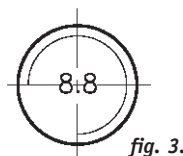


fig. 3.

### Variación de las características a temperaturas elevadas

| Clase de calidad | +20°C  | +100°C | +200°C | +250°C | +300°C |
|------------------|--|--------|--------|--------|--------|
|                  | Límite inferior de fluencia $R_{el}$ o límite convencional de elasticidad $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> |        |        |        |        |
| 5,6              | 300  | 270    | 230    | 215    | 195    |
| 8,8              | 640  | 590    | 540    | 510    | 480    |
| 10,9             | 940  | 875    | 790    | 745    | 705    |
| 12,9             | 1100   | 1020   | 925    | 875    | 825    |

| Clase de calidad   | 8.8 | 9.8 | 10.9 | 12.9 |
|--------------------|-----|-----|------|------|
| Símbolo de marcado | ○   | +   | □    | △    |

fig. 4.

- El roscado a izquierdas, para un diámetro nominal  $d \geq 5$ mm. , debe ser marcado con el símbolo indicado en la figura 5, ya sea en la cabeza del tornillo o en el extremo de la caña. Otra posibilidad de marcado, como la indicada en la figura 6, puede ser utilizada para los bulones y los tornillos de cabeza hexagonal.

### 2.1.3 Marcado de los bulones, tornillos y espárragos.

- El marcado de todas las clases de calidad es obligatorio para los bulones y los tornillos de cabeza hexagonal, de diámetro nominal  $d \geq 5$ mm. de preferencia en la cara superior de la cabeza, ver fig. 1.

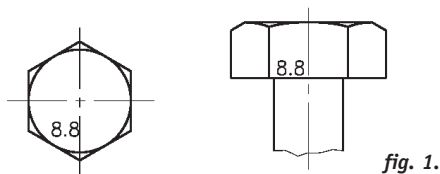


fig. 1.

- El marcado de las clases de calidad  $\geq 8.8$  es obligatoria para los tornillos de cabeza con hexágono interior, tipo "Allen", de diámetro nominal  $d \geq 5$ mm. de preferencia en la parte superior de la cabeza, ver fig. 2.

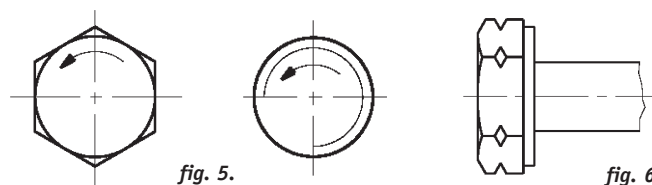


fig. 5.

fig. 6.

- El símbolo de identificación del fabricante es necesario para todos los productos que deben ser marcados con las clases de calidad.
- Para los otros tipos de bulones y tornillos, debe ser efectuado el mismo sistema de marcado. El marcado de elementos especiales puede ser realizado después de acuerdo entre el cliente y el fabricante.

## 2.2 TUERCAS DIN, PASO GRUESO Y PASO FINO

**NORMA**

**DIN ISO:** 267 Parte 4

**ISO:** -

**NF:** -

### Características mecánicas de las tuercas DIN en acero, con cargas de prueba según DIN 267 parte 4 de paso grueso y fino.

Las clases de calidad mencionadas, así como sus características mecánicas, se aplican a las tuercas con rosca métrica ISO de paso grueso y paso fino con tolerancias de roscado 6G, y 4H a 7H, de diámetro nominal hasta 39mm. inclusive; con entrecaras de sobremedida o diámetro exterior mínimo de 1,45 D, y altura mínima de 0,8 D, incluyendo el fresado normal del roscado; ya sean en acero al carbono, o en acero aleado ligeramente, y ensayadas a temperatura ambiente.

Además, estas clases de calidad, se aplican únicamente a las tuercas denominadas "DIN", cuando las características mecánicas se refieren a la DIN 267 Parte 4; ejemplo: tuerca hexagonal DIN 555 y DIN 934.

Es aconsejable, para los nuevos, utilizar las tuercas "ISO"; ejemplo: ISO 4032 o ISO 4034; ya que, éstas ofrecen una resistencia mejor a la carga de prueba de la ISO 898/2, y abandonar, en el futuro, la DIN 267 Parte 4 en favor de la ISO 898/2.

Esta norma no se aplica a las tuercas que tienen especificaciones particulares, tales como: soldabilidad, resistencia a la corrosión conforme a la DIN 276 Parte 11; resistencia a temperaturas por encima de +300°C., o por debajo de -50°C. conforme a la DIN 267 Parte 13; seguridad conforme a la DIN 267 Parte 15.

Las tuercas en acero dulce para decoletaje, no deben ser utilizadas a temperaturas por encima de +250°C.

Existe un riesgo incrementado de arrancamiento de las uniones, realizadas con roscas, con tolerancias por encima de 6g/6H. La utilización de esta norma para tuercas por encima de 39mm. será permitida, solo, si éstas cumplen con todos los requerimientos y características.

### 2.2.1 Nomenclatura de las clases de calidad.

El símbolo consiste en una cifra que indica, en N/mm<sup>2</sup>, un 1/100 del esfuerzo de carga de prueba; ejemplo: la clase 8 tiene un esfuerzo de carga de prueba de: 8 x 100 = 800 N/mm<sup>2</sup>. Este esfuerzo de carga de prueba es igual a la resistencia mínima a la tracción de un tornillo, que puede ser cargado sin arrancamiento, siempre que este unido a la tuerca correspondiente.

Las tuercas de una calidad superior, generalmente, pueden ser utilizadas en el lugar de otras de calidad inferior.

Para establecer una diferenciación clara entre las tuercas "ISO" y las tuercas "DIN", la clase de calidad debe de ser marcada con una barra vertical a cada lado del símbolo; ejemplo: | 8 |.

### 2.2.2 Características mecánicas de las tuercas.

| Característ. mecánicas                             |       |                   | 4   * | 5   | 6   | 8   | 10   | 12   |
|--|-------|-------------------|-------|-----|-----|-----|------|------|
| Esfuerzo de carga de pueba<br>Sp N/mm <sup>2</sup> | Sp    | N/mm <sup>2</sup> | 400   | 500 | 600 | 800 | 1000 | 1200 |
|  |       |                   |       |     |     |     |      |      |
| Dureza Vickers                                     | HV 5  | máx.              | 302   | 302 | 302 | 302 | 353  | 353  |
| Dureza Brinell                                     | HB 30 | máx.              | 290   | 290 | 290 | 290 | 335  | 335  |
| Dureza Rockwell                                    | HRC   | máx.              | 30    | 30  | 30  | 30  | 36   | 36   |

Ensayo de ensanchamiento

\* Sólo por encima M 16

ver DIN 267 Parte 21

### 2.2.3 Marcado de las tuercas.

Las tuercas Hexagonales ≥ M5, deben ser marcadas con el símbolo de la clase de calidad; una barra vertical a cada lado del símbolo, y la marca o símbolo de identificación del fabricante encima o al lado; ver fig. 1.

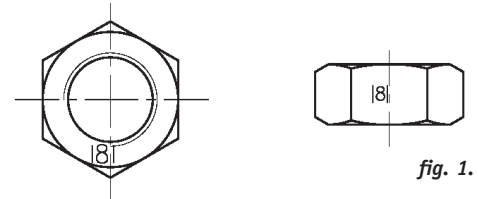


fig. 1.

Las tuercas hexagonales DIN 555 y DIN 934, y las tuercas almenadas DIN 935 en acero dulce de decoletaje deben, además, ser marcadas con una estría en una de las caras; ver fig. 2.

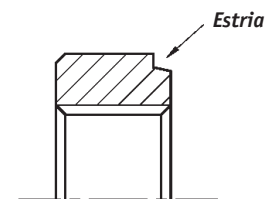


fig. 2.

Las tuercas con rosca a izquierda deben ser marcadas con una flecha, orientada hacia la izquierda, en una de sus caras, o con una muesca en los cantos de las caras situada a la mitad de la altura de la tuerca; ver fig. 3.

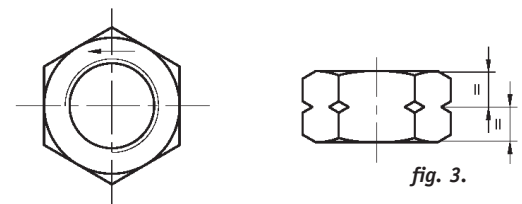


fig. 3.

## 2.3 TUERCAS ISO, PASO GRUESO

**NORMA**
**DIN ISO:** 898 Parte 2

**ISO:** 898 Parte 2

**NF:** E25 - 400

### Características mecánicas de las tuercas "ISO" en acero, con cargas de prueba según ISO 898/2 y rosca métrica ISO de paso grueso.

Las clases de calidad mencionadas, así como sus características mecánicas, se aplican a las tuercas con rosca métrica ISO de paso grueso con tolerancias de roscado 6H, de diámetro nominal hasta 39 mm. inclusive; con entrecaras de sobremedida según ISO 272, y altura  $\geq 0,5 D$ ; ya sean en acero al carbono, o en acero aleado ligeramente, y ensayadas a temperatura ambiente.

Además, estas clases de calidad, se aplican únicamente a las tuercas denominadas "ISO"; ejemplo: ISO 4032 o ISO 4034. Esta norma no se aplica a las tuercas que tienen especificaciones particulares, tales como: soldabilidad, resistencia a la corrosión conforme a la DIN 267 Parte 11; resistencia a temperaturas por encima de +300°C., o por debajo de -50°C. conforme a la DIN 267 Parte 13; seguridad conforme a la DIN 267 Parte 15.

Las tuercas en acero dulce para decoletaje, no deben ser utilizadas a temperaturas por encima de +250°C. Existe un riesgo incrementado de arrancamiento de las uniones, realizadas con roscas, con tolerancias por encima de 6g/6H. La utilización de esta norma para tuercas por encima de 39 mm. será permitida, solo, si éstas cumplen con todos los requerimientos y características.

#### 2.3.1 Nomenclatura de las clases de calidad.

##### Para tuercas de altura nominal $\geq 0,8 D$ , capacidad de carga máxima

| Clases de calidad de la tuerca | Bulones y tornillos a montar |                                   |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
|                                | Clases de calidad            | Gama de diámetros                 |
| 4                              | 3,6 4,6 4,8                  | > M 16                            |
| 5                              | 3,6 4,6 4,8<br>5,6 5,8       | $\leq$ M 16<br>todos              |
| 6                              | 6,8                          | todos                             |
| 8                              | 8,8                          | todos                             |
| 9                              | 8,8<br>9,8                   | $> M 16 \leq M 39$<br>$\leq M 16$ |
| 10                             | 10,9                         | todos                             |
| 12                             | 12,9                         | $\leq M 39$                       |

La designación de las clases de calidad de estas tuercas consiste en una sola cifra, que corresponde a la primera cifra de la clase de calidad del bulón o del tornillo, con la cual, las tuercas pueden ser roscadas. La combinación conforme a lo indicado en la tabla, está destinada a obtener ensamblajes capaces de asegurar el esfuerzo bajo carga de prueba, sin que se produzca el arrancamiento de los hilos de rosca de la tuerca.

Por lo general, una tuerca de clase de calidad más alta puede remplazar a una de clase de calidad más baja.

##### Para tuercas de altura nominal $\geq 0,8 D$ , capacidad de carga máxima

| Clases de calidad de la tuerca | Esfuerzo bajo carga de prueba nominal N/mm <sup>2</sup> | Esfuerzo bajo carga de prueba real N/mm <sup>2</sup> |
|--------------------------------|---|--|
| 04                             | 400   | 380  |
| 05                             | 500   | 500  |

La designación de las clases de calidad de estas tuercas consiste en dos cifras. La primera cifra indica que la capacidad de carga es reducida en comparación con las tuercas de altura nominal  $\geq 0,8 D$ . La segunda cifra indica un 1/100 del esfuerzo bajo carga de prueba, nominal, en N/mm<sup>2</sup>.; ejemplo: la clase de calidad 04 tiene un esfuerzo bajo carga de prueba, nominal, de  $4 \times 100 = 400$  N/mm<sup>2</sup>.

#### 2.3.2 Características mecánicas de las tuercas.

##### Clases de calidad

| $\emptyset$ nominal | 04                        |                   |                |      |                 |      | 05                        |      |                |      |                 |      |      |
|---------------------|---------------------------|-------------------|----------------|------|-----------------|------|---------------------------|------|----------------|------|-----------------|------|------|
|                     | Esf. bajo carga de prueba |                   | Dureza Vickers |      | Dureza Rockwell |      | Esf. bajo carga de prueba |      | Dureza Vickers |      | Dureza Rockwell |      |      |
|                     | mm.                       | Sp                | Hv             | HRC  | Hv              | HRC  | mm.                       | Sp   | Hv             | HRC  | Hv              | HRC  |      |
| desde               | hasta                     | N/mm <sup>2</sup> | mín.           | máx. | mín.            | máx. | N/mm <sup>2</sup>         | mín. | máx.           | mín. | máx.            | mín. | máx. |
| -                   | 4                         |                   |                |      |                 |      |                           |      |                |      |                 |      |      |
| 4                   | 7                         |                   |                |      |                 |      |                           |      |                |      |                 |      |      |
| 7                   | 10                        | 380               | 188            | 302  | -               | 30   | 500                       | 272  | 353            | 27,8 | 36              |      |      |
| 10                  | 16                        |                   |                |      |                 |      |                           |      |                |      |                 |      |      |
| 16                  | 39                        |                   |                |      |                 |      |                           |      |                |      |                 |      |      |
| 39                  | 100                       | -                 |                |      |                 |      | -                         |      |                |      |                 |      |      |

| $\emptyset$ nominal | 4                         |                   |                |      |                 |      | 5                         |      |                |      |                 |      |      |
|---------------------|---------------------------|-------------------|----------------|------|-----------------|------|---------------------------|------|----------------|------|-----------------|------|------|
|                     | Esf. bajo carga de prueba |                   | Dureza Vickers |      | Dureza Rockwell |      | Esf. bajo carga de prueba |      | Dureza Vickers |      | Dureza Rockwell |      |      |
|                     | mm.                       | Sp                | Hv             | HRC  | Hv              | HRC  | mm.                       | Sp   | Hv             | HRC  | Hv              | HRC  |      |
| desde               | hasta                     | N/mm <sup>2</sup> | mín.           | máx. | mín.            | máx. | N/mm <sup>2</sup>         | mín. | máx.           | mín. | máx.            | mín. | máx. |
| -                   | 4                         |                   |                |      |                 |      | 520                       |      |                |      |                 |      |      |
| 4                   | 7                         |                   |                |      |                 |      | 580                       |      |                |      |                 |      |      |
| 7                   | 10                        | -                 | -              | -    | -               | -    | 590                       | 130  | 302            | -    | 30              |      |      |
| 10                  | 16                        |                   |                |      |                 |      | 610                       |      |                |      |                 |      |      |
| 16                  | 39                        | 510               | 117            | 302  | -               | 30   | 630                       | 146  |                |      |                 |      |      |
| 39                  | 100                       | -                 |                |      |                 |      | -                         | 128  | -              |      |                 |      |      |

| $\emptyset$ nominal | 6                         |                   |                |      |                 |      | 8                         |      |                |      |                 |      |      |
|---------------------|---------------------------|-------------------|----------------|------|-----------------|------|---------------------------|------|----------------|------|-----------------|------|------|
|                     | Esf. bajo carga de prueba |                   | Dureza Vickers |      | Dureza Rockwell |      | Esf. bajo carga de prueba |      | Dureza Vickers |      | Dureza Rockwell |      |      |
|                     | mm.                       | Sp                | Hv             | HRC  | Hv              | HRC  | mm.                       | Sp   | Hv             | HRC  | Hv              | HRC  |      |
| desde               | hasta                     | N/mm <sup>2</sup> | mín.           | máx. | mín.            | máx. | N/mm <sup>2</sup>         | mín. | máx.           | mín. | máx.            | mín. | máx. |
| -                   | 4                         | 600               |                |      |                 |      | 800                       | 170  |                |      |                 |      |      |
| 4                   | 7                         | 670               |                |      |                 |      | 810                       |      |                |      |                 |      |      |
| 7                   | 10                        | 680               | 150            | 302  | -               | 30   | 830                       | 188  | 302            | -    | 30              |      |      |
| 10                  | 16                        | 700               |                |      |                 |      | 840                       |      |                |      |                 |      |      |
| 16                  | 39                        | 720               | 170            |      |                 |      | 920                       | 233  | 353            | -    | 38              |      |      |
| 39                  | 100                       | -                 | 142            |      |                 |      | -                         | 207  |                |      |                 |      |      |

| $\emptyset$ nominal | 9                         |                   |                |      |                 |      | 10                        |      |                |      |                 |      |      |
|---------------------|---------------------------|-------------------|----------------|------|-----------------|------|---------------------------|------|----------------|------|-----------------|------|------|
|                     | Esf. bajo carga de prueba |                   | Dureza Vickers |      | Dureza Rockwell |      | Esf. bajo carga de prueba |      | Dureza Vickers |      | Dureza Rockwell |      |      |
|                     | mm.                       | Sp                | Hv             | HRC  | Hv              | HRC  | mm.                       | Sp   | Hv             | HRC  | Hv              | HRC  |      |
| desde               | hasta                     | N/mm <sup>2</sup> | mín.           | máx. | mín.            | máx. | N/mm <sup>2</sup>         | mín. | máx.           | mín. | máx.            | mín. | máx. |
| -                   | 4                         | 900               | 170            |      |                 |      | 1040                      |      |                |      |                 |      |      |
| 4                   | 7                         | 915               |                |      |                 |      | 1040                      |      |                |      |                 |      |      |
| 7                   | 10                        | 940               | 188            | 302  |                 | 30   | 1040                      | 272  | 353            | 28   | 38              |      |      |
| 10                  | 16                        | 950               |                |      |                 |      | 1050                      |      |                |      |                 |      |      |
| 16                  | 39                        | 920               |                |      |                 |      | 1060                      |      |                |      |                 |      |      |
| 39                  | 100                       | -                 | -              | -    | -               | -    | -                         |      |                |      |                 |      |      |

## 2.3 TUERCAS ISO, PASO GRUESO

### Clases de calidad

| Ø nominal |       | 12                        |                   |                   |                 |                                   |  |
|-----------|-------|---------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------------|--|
|           |       | Esf. bajo carga de prueba | Dureza Vickers    |                   | Dureza Rockwell |                                   |  |
| mm.       | Sp    |                           | Hv                |                   | HRC             |                                   |  |
| desde     | hasta | N/mm <sup>2</sup>         | mín.              | máx.              | mín.            | máx.                              |  |
| -         | 4     | 1150                      |                   |                   |                 |                                   |  |
| 4         | 7     | 1150                      |                   |                   |                 |                                   |  |
| 7         | 10    | 1160                      | 295 <sup>1)</sup> | 272 <sup>2)</sup> | 353             | 31 <sup>1)</sup> 28 <sup>2)</sup> |  |
| 10        | 16    | 1190                      |                   |                   |                 |                                   |  |
| 16        | 39    | 1200                      | -                 |                   | -               |                                   |  |
| 39        | 100   | -                         | -                 | -                 | -               | -                                 |  |

1) para tuercas ISO 4032, tipo 1.

2) para tuercas ISO 4033, tipo 2.

- La dureza mínima es obligatoria únicamente para las tuercas tratadas térmicamente, y para las que no se puedan someter al ensayo de carga de prueba. Para todas las demás tuercas la dureza mínima se da a título de dato a tener en cuenta.

- Para las tuercas de diámetros, nominales, por encima de 39 mm. hasta 100 mm., la dureza se da a título informativo.

### 2.3.3 Marcado de las tuercas.

Las tuercas hexagonales  $\geq M5$ , de clases de calidad  $\geq 8$ , y las de clase 05, deben ser marcadas con el símbolo de la clase de calidad, y la marca o símbolo de identificación del fabricante encima o al lado; ver fig. 1. El marcado codificado, basado en el sistema de cuadrante horario, no ha encontrado aceptación general.

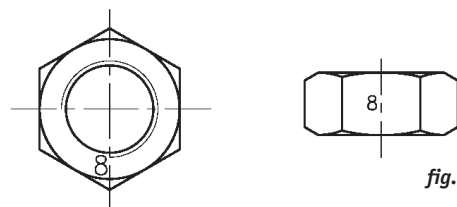


fig. 1.

Las tuercas con rosca a izquierda  $\geq M6$  deben ser marcadas con una flecha, orientada hacia la izquierda, en una de sus caras, o con una muesca en los cantos de las caras situada a la mitad de la altura de la tuerca; ver fig. 2.

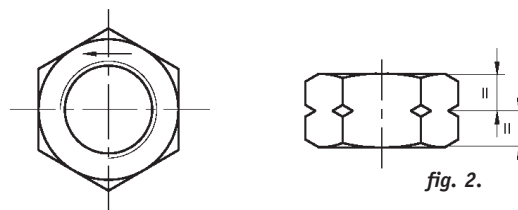


fig. 2.

## 2.4 TUERCAS ISO, PASO FINO

**NORMA**

**DIN ISO:** 898 Parte 6

**ISO:** 898 Parte 6

**NF:** -

### Características mecánicas de las tuercas "ISO" en acero, con cargas de prueba según ISO 898/2 y rosca métrica ISO de paso fino.

Las clases de calidad mencionadas, así como sus características mecánicas, se aplican a las tuercas con rosca métrica ISO de paso fino con tolerancias de roscado 6H, de diámetro nominal hasta 39 mm. inclusive; con entrecaras de sobre-medida según ISO 272, y altura  $\geq 0,5 D$ ; ya sean en acero al carbono, o en acero aleado ligeramente, y ensayadas a temperatura ambiente.

Además, estas clases de calidad, se aplican únicamente a las tuercas más altas, denominadas "ISO" de DIN 971 Parte 1 y 2 con rosca métrica de paso fino. Esta norma no se aplica a las tuercas que tienen especificaciones particulares, tales como: soldabilidad, resistencia a la corrosión conforme a la DIN 267 Parte 11; resistencia a temperaturas por encima de +300°C., o por debajo de -50°C. conforme a la DIN 267 Parte 13; seguridad conforme a la DIN 267 Parte 15.

Las tuercas en acero dulce para decoletaje, no deben ser utilizadas a temperaturas por encima de +250°C.

Existe un riesgo incrementado de arrancamiento de las uniones, realizadas con roscas, con tolerancias por encima de 6g/6H.

#### 2.4.1 Nomenclatura de las clases de calidad.

**Para tuercas de altura nominal  $\geq 0,8 D$ , capacidad de carga máxima**

| Clases de calidad de la tuerca | Bulones y tornillos a montar |                   | Tuercas           |             |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------|
|                                | Clases de calidad            | Gama de diámetros | Estilo 1          | Estilo 2    |
|                                |                              |                   | Gama de diámetros |             |
| 6                              | $\leq 6,8$                   | $d \geq 39$       | $d \leq 39$       | -           |
| 8                              | 8,8                          | $d \leq 39$       | $d \leq 39$       | $d \leq 16$ |
| 10                             | 10,9                         | $d \leq 39$       | $d \leq 16$       | $d \leq 39$ |
| 12                             | 12,9                         | $d \leq 16$       | -                 | $d \leq 16$ |

La designación de las clases de calidad de estas tuercas consiste en una sola cifra, que corresponde a la primera cifra de la clase de calidad del bulón o del tornillo, con la cual, las tuercas pueden ser roscadas. La combinación conforme a lo indicado en la tabla, está destinada a obtener ensamblajes capaces de asegurar el esfuerzo bajo carga de prueba, sin que se produzca el arrancamiento de los hilos de rosca de la tuerca.

Por lo general, una tuerca de clase de calidad más alta puede reemplazar a una de clase de calidad más baja.

**Para tuercas de altura nominal  $\geq 0,5 D \leq 0,8 D$ , capacidad de carga máxima**

| Clases de calidad de la tuerca | Esfuerzo bajo carga de prueba nominal N/mm <sup>2</sup> | Esfuerzo bajo carga de prueba real N/mm <sup>2</sup> |
|--------------------------------|---|--|
| 04                             | 400   | 380  |
| 05                             | 500   | 500  |

La designación de las clases de calidad de estas tuercas consiste en dos cifras. La primera cifra indica que la capacidad de carga es reducida en comparación con las tuercas de altura nominal  $\geq 0,8 D$ . La segunda cifra indica un 1/100 del esfuerzo bajo carga de prueba, nominal, en N/mm<sup>2</sup>.; ejemplo: la clase de calidad 04 tiene un esfuerzo bajo carga de prueba, nominal, de  $4 \times 100 = 400$  N/mm<sup>2</sup>.

### 2.4.2 Características mecánicas de las tuercas.

#### Clases de calidad

| Ø nominal d        | 04                            |                   |      |                    | 05     |                               |                   |     |                 |       |
|--------------------|-------------------------------|-------------------|------|--------------------|--------|-------------------------------|-------------------|-----|-----------------|-------|
|                    | Esfuerzo bajo carga de prueba | Dureza Vickers HV |      | Tuerca             |        | Esfuerzo bajo carga de prueba | Dureza Vickers HV |     | Tuerca          |       |
|                    |                               | Sp                | mín. | máx.               | estado |                               | estilo            | Sp  |                 | mín.  |
| mm.                | N/mm <sup>2</sup>             |                   |      |                    |        | N/mm <sup>2</sup>             |                   |     |                 |       |
| $8 \leq d \leq 39$ | 380                           | 188               | 302  | No temp. ni reven. | delg.  | 500                           | 272               | 353 | Templ. y reven. | delg. |

#### Clases de calidad

| Ø nominal d         | 6                             |                   |      |                                    | 8      |                               |                   |     |                   |      |
|---------------------|-------------------------------|-------------------|------|------------------------------------|--------|-------------------------------|-------------------|-----|-------------------|------|
|                     | Esfuerzo bajo carga de prueba | Dureza Vickers HV |      | Tuerca                             |        | Esfuerzo bajo carga de prueba | Dureza Vickers HV |     | Tuerca            |      |
|                     |                               | Sp                | mín. | máx.                               | estado |                               | estilo            | Sp  |                   | mín. |
| mm.                 | N/mm <sup>2</sup>             |                   |      |                                    |        | N/mm <sup>2</sup>             |                   |     |                   |      |
| $8 \leq d \leq 10$  | 770                           | 188               | 302  | no templ. y revenido <sup>1)</sup> | 1      | 955                           | 250               | 353 | templ. y revenido | 1    |
| $10 \leq d \leq 16$ | 780                           | 233               | 302  |                                    |        | 955                           |                   |     |                   |      |
| $16 \leq d \leq 33$ | 870                           |                   |      |                                    |        | 1030                          |                   |     |                   |      |
| $33 \leq d \leq 39$ | 930                           |                   |      |                                    |        | 1090                          |                   |     |                   |      |

| Ø nominal d         | 8                             |                   |      |                      |      |
|---------------------|-------------------------------|-------------------|------|----------------------|------|
|                     | Esfuerzo bajo carga de prueba | Dureza Vickers HV |      | Tuerca               |      |
|                     |                               | Sp                | mín. |                      | máx. |
| mm.                 | N/mm <sup>2</sup>             |                   |      |                      |      |
| $8 \leq d \leq 10$  | 890                           | 195               | 302  | no templ. y revenido | 2    |
| $10 \leq d \leq 16$ | 890                           |                   |      |                      |      |
| $16 \leq d \leq 33$ | -                             | -                 | -    |                      |      |
| $33 \leq d \leq 39$ | -                             | -                 | -    |                      |      |

1) Por encima de los 16 mm. el tratamiento térmico de las tuercas es a discreción del fabricante.

#### Clases de calidad

| Ø nominal d         | 10                            |                   |      |                 |        |                               |                   |     |                   |      |
|---------------------|-------------------------------|-------------------|------|-----------------|--------|-------------------------------|-------------------|-----|-------------------|------|
|                     | Esfuerzo bajo carga de prueba | Dureza Vickers HV |      | Tuerca          |        | Esfuerzo bajo carga de prueba | Dureza Vickers HV |     | Tuerca            |      |
|                     |                               | Sp                | mín. | máx.            | estado |                               | estilo            | Sp  |                   | mín. |
| mm.                 | N/mm <sup>2</sup>             |                   |      |                 |        | N/mm <sup>2</sup>             |                   |     |                   |      |
| $8 \leq d \leq 10$  | 1100                          | 295               | 353  | templ. revenido | 1      | 1055                          | 250               | 353 | templ. y revenido | 2    |
| $10 \leq d \leq 16$ | 1110                          |                   |      |                 |        | 1055                          |                   |     |                   |      |
| $16 \leq d \leq 33$ | -                             | -                 | -    |                 |        | 1080                          | 260               |     |                   |      |
| $33 \leq d \leq 39$ | -                             | -                 | -    |                 |        | 1080                          |                   |     |                   |      |

## 2.4 TUERCAS ISO, PASO FINO

### Clases de calidad

| Ø nominal<br>d | 12   |                   |      |                     |        |
|----------------|--|-------------------|------|---------------------|--------|
|                | Esfuerzo bajo carga de prueba<br>Sp<br>N/mm <sup>2</sup> | Dureza Vickers HV |      | Tuerca              |        |
|                |  | mín.              | máx. | estado              | estilo |
| mm.            |  |                   |      |                     |        |
| 8 ≤ d ≤ 10     | 1200   | 295               | 353  | templado y revenido | 2      |
| 10 ≤ d ≤ 16    |  |                   |      |                     |        |
| 16 ≤ d ≤ 33    |  |                   |      |                     |        |
| 33 ≤ d ≤ 39    | -  | -                 | -    | -                   | -      |

- La dureza mínima es obligatoria únicamente para las tuercas tratadas térmicamente, y para las que no se puedan someter al ensayo de carga de prueba. Para todas las demás tuercas la dureza mínima se da a título de dato a tener en cuenta.

### 2.4.3 Marcado de las tuercas.

Las tuercas hexagonales ≥ M5, de clases de calidad ≥ 8, y las de clase 05, deben ser marcadas con el símbolo de la clase de calidad, y la marca o símbolo de identificación del fabricante encima o al lado; ver fig. 1. El marcado codificado, basado en el sistema de cuadrante horario, no ha encontrado aceptación general.

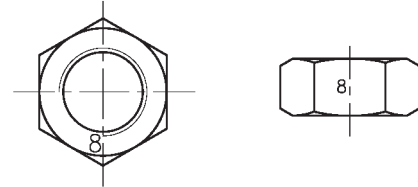


fig. 1.

Las tuercas con rosca a izquierda ≥ M6 deben ser marcadas con una flecha, orientada hacia la izquierda, en una de sus caras, o con una muesca en los cantos de las caras situada a la mitad de la altura de la tuerca; ver fig. 2.

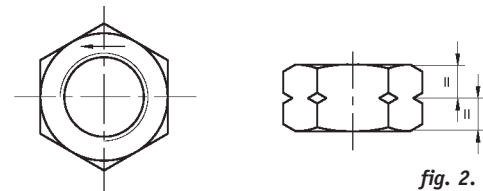


fig. 2.

## 2.5 TUERCAS, ESPECIFICACIONES DE CALIDAD SEGÚN DUREZA

### NORMA

DIN ISO: 267 Parte 24

ISO: -

NF: -

### Características mecánicas de las tuercas en acero. Especificadas en clases de calidad según la dureza.

Esta norma da las características mecánicas de las tuercas, que por geometría o dimensiones, no pueden ser sometidas al ensayo de esfuerzo bajo carga de prueba, y no pueden ser especificadas bajo esta característica.

Estas tuercas están designadas según la dureza mínima, por lo que no se pueden sacar conclusiones de sus capacidades de carga, ni de arranque de las roscas.

Las características funcionales dependen de las formas.

Esta norma no se aplica a las tuercas que tienen especificaciones particulares, tales como: soldabilidad, resistencia a la corrosión conforme a la DIN 267 Parte 11; resistencia a temperaturas por encima de +300°C., o por debajo de -50°C. conforme a la DIN 267 Parte 13; seguridad conforme a la DIN 267 Parte 15; ni a las tuercas que deben ser sometidas al ensayo de esfuerzo bajo carga de prueba conforme a la ISO 898/2, la DIN 267 Parte 4, y la ISO 898/6.

Las tuercas en acero dulce para decoletaje, no deben ser utilizadas a temperaturas por encima de +250°C.

### 2.5.1 Nomenclatura de las clases de calidad.

| Símbolo de clase de calidad | 11 H | 14 H | 17 H | 22 H |
|-----------------------------|------|------|------|------|
| Dureza Vickers HV 5 mín.    | 110  | 140  | 170  | 220  |

La designación de las clases de calidad de estas tuercas consiste en una combinación de una cifra y de una letra.

La cifra indica 1/10 de la dureza Vickers mínima; ejemplo 14 x 10 = 140 HV.

La letra H es la designación para la palabra dureza, Hardness, en inglés.

### 2.5.2 Características mecánicas de las tuercas.

| Características mecánicas |      | Clases de calidad |      |      |      |
|---------------------------|------|-------------------|------|------|------|
|                           |      | 11 H              | 14 H | 17 H | 22 H |
| Dureza Vickers HV 5       | mín. | 110               | 140  | 170  | 220  |
|                           | máx. | 185               | 215  | 245  | 300  |
| Dureza Brinell HB 30      | mín. | 105               | 133  | 162  | 209  |
|                           | máx. | 176               | 204  | 233  | 285  |

### 2.5.3 Marcado de las tuercas.

Solamente la clase de calidad 22H debe de ser marcada con el símbolo de la clase de calidad; ver fig. 1.

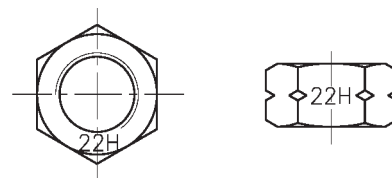


fig. 1.

Las tuercas con rosca a izquierda deben ser marcadas con una flecha, orientada hacia la izquierda, en una de sus caras, o con una muesca en los cantos de las caras situada a la mitad de la altura de la tuerca; ver fig. 2.

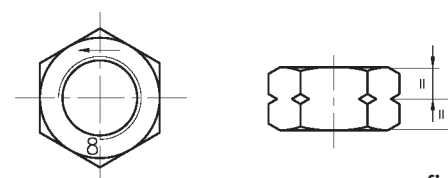


fig. 2.

## 2.6 TUERCAS REMACHABLES

Gracias a la tuerca remachable, es posible proveer a una chapa fina de un punto de fijación, roscado, de una manera simple, fiable y rápida. Con la ayuda de una herramienta de remachar, la tuerca, ciega, se coloca en unos pocos segundos, por el lado exterior de la construcción.

Con la utilización de la tuerca remachable es posible la unión o ensamblaje de diferentes piezas entre ellas: perfiles huecos a chapas, chapas, perfiles estructurales, etc.. Y también proveerlas de agujeros roscados seguros, como puntos de fijación. Combinando la función de tuerca con la de remache de unión.

La naturaleza de la aplicación y el entorno en la que deberá trabajar la tuerca tienen, a menudo, un papel determinante en la selección del material de las mismas. Los materiales son, en principio, el acero, el aluminio, el acero inoxidable o el latón

### Ejemplos de aplicación.

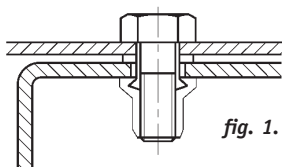


fig. 1.

- Fijación de paneles a soportes metálicos.  
Montaje de pies regulables en muebles metálicos.

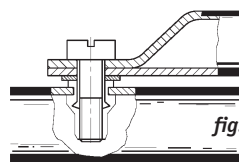


fig. 2.

- Muebles de camping y de jardín plegables.  
Fijaciones de brazos articulados en parasoles.

### 2.6.1. Características mecánicas de las tuercas remachables.

Para asegurar un montaje con éxito, es necesario teladrar o punzonar el agujero de alojamiento con gran precisión.

| d   | Carga a tracción máxima N.<br>Aplicada sobre la rosca<br>de la tuerca |               | Par de apriete máximo N.m. <sup>1)</sup><br>Con en elemento entre la cabeza<br>del tornillo y la cabeza de la<br>tuerca |               |          |
|-----|---|---------------|---|---------------|----------|
|     | Material  | Acero<br>Inox | Aluminio  | Acero<br>Inox | Aluminio |
| M3  |   | 4000          | 2500  | 1,2           | 0,7      |
| M4  |   | 6800          | 4000  | 3,0           | 2,0      |
| M5  |   | 10000         | 5500  | 6,0           | 4,0      |
| M6  |   | 15000         | 8300  | 10,0          | 6,0      |
| M8  |   | 27000         | 13000   | 24,0          | 15,0     |
| M10 |   | 37000         | 20000   | 48,0          | 27,0     |
| M12 |   | 54000         | 28000   | 82,0          | 45,0     |

1) después del control del par, verificar que le parte montada permanece inmóvil.

## 2.7 RELACIÓN ENTRE LA DUREZA Y LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LOS ACEROS

Las tres propiedades fundamentales de los metales son: la cohesión, la elasticidad y la plasticidad.

La cohesión es la resistencia que oponen los átomos a separarse unos de otros.

La elasticidad es la capacidad de recobrar la forma primitiva que tienen los cuerpos elásticos, cuando cesa la causa que los deforma.

La plasticidad es la capacidad de adquirir deformaciones permanentes. Si esta capacidad para la deformación lo es especialmente para el adelgazamiento en

forma de láminas, la plasticidad se denomina maleabilidad, y si es en forma de hilos, ductilidad.

La dureza se define como la resistencia que ofrece el material a ser rayado o penetrado por otro, lo que nos da un valor de la cohesión del mismo y, por tanto, una idea de su resistencia a la tracción.

Es por ello que sabiendo la dureza de un acero, podemos saber con bastante seguridad su resistencia a la tracción.

### 2.7.1 Tablas de durezas con correspondencias.

| Dureza                   |                       |   |                                    |         |          | Resist. a la tracción   |
|--------------------------|-----------------------|---|------------------------------------|---------|----------|-------------------------|
| Brinell                  |                       | Rockwell                                      |                                    | Vickers | Shore HS | Kg. por mm <sup>2</sup> |
| Bola 10 mm. con 3000 Kg. | Ø de la huella en mm. | C Carga de 150 Kg. y cono de diamante de 120° | B Carga de 100 Kg. y bola de 1/16" |         |          |                         |
| 3,40                     | 321                   | 34  | 108                                | 327     | 45       | 109                     |
| 3,45                     | 311                   | 33  | 108                                | 316     | 44       | 106                     |
| 3,50                     | 302                   | 32  | 107                                | 305     | 43       | 103                     |
| 3,55                     | 293                   | 31  | 106                                | 296     | 42       | 100                     |
| 3,60                     | 285                   | 30  | 105                                | 287     | 40       | 98                      |
| 3,65                     | 277                   | 29  | 104                                | 279     | 39       | 95                      |
| 3,70                     | 269                   | 28  | 104                                | 270     | 38       | 92                      |
| 3,75                     | 262                   | 26  | 103                                | 263     | 37       | 90                      |
| 3,80                     | 255                   | 25  | 102                                | 256     | 37       | 88                      |
| 3,85                     | 248                   | 24  | 102                                | 248     | 36       | 86                      |
| 3,90                     | 241                   | 23  | 100                                | 241     | 35       | 84                      |
| 3,95                     | 235                   | 22  | 99                                 | 235     | 34       | 82                      |
| 4,00                     | 229                   | 21  | 98                                 | 229     | 33       | 80                      |
| 4,05                     | 223                   | 20  | 97                                 | 223     | 32       | 78                      |
| 4,10                     | 217                   | 18  | 96                                 | 217     | 31       | 75                      |
| 4,15                     | 212                   | 17  | 96                                 | 212     | 31       | 73                      |
| 4,20                     | 207                   | 16  | 95                                 | 207     | 30       | 71                      |
| 4,25                     | 202                   | 15  | 94                                 | 202     | 30       | 70                      |
| 4,30                     | 197                   | 13  | 93                                 | 197     | 29       | 68                      |
| 4,35                     | 192                   | 12  | 92                                 | 192     | 28       | 67                      |
| 4,40                     | 187                   | 10  | 91                                 | 187     | 28       | 66                      |
| 4,45                     | 183                   | 9   | 90                                 | 183     | 27       | 64                      |
| 4,50                     | 179                   | 8   | 89                                 | 179     | 27       | 63                      |
| 4,55                     | 174                   | 7   | 88                                 | 174     | 26       | 61                      |
| 4,60                     | 170                   | 6   | 87                                 | 170     | 26       | 60                      |
| 4,65                     | 166                   | 4   | 86                                 | 166     | 25       | 59                      |

| Dureza                   |                       |   |                                    |         |          | Resist. a la tracción   |
|--------------------------|-----------------------|---|------------------------------------|---------|----------|-------------------------|
| Brinell                  |                       | Rockwell                                      |                                    | Vickers | Shore HS | Kg. por mm <sup>2</sup> |
| Bola 10 mm. con 3000 Kg. | Ø de la huella en mm. | C Carga de 150 Kg. y cono de diamante de 120° | B Carga de 100 Kg. y bola de 1/16" |         |          |                         |
| 4,70                     | 163                   | 3   | 85                                 | 163     | 25       | 58                      |
| 4,75                     | 159                   | 2   | 84                                 | 159     | 24       | 56                      |
| 4,80                     | 156                   | 1   | 83                                 | 156     | 24       | 55                      |
| 4,85                     | 153                   | —   | 82                                 | 153     | 23       | 54                      |
| 4,90                     | 149                   | —   | 81                                 | 149     | 23       | 53                      |
| 4,95                     | 146                   | —   | 80                                 | 146     | 22       | 52                      |
| 5,00                     | 143                   | —   | 79                                 | 143     | 22       | 51                      |
| 5,05                     | 140                   | —   | 78                                 | 140     | 21       | 50                      |
| 5,10                     | 137                   | —   | 77                                 | 137     | 21       | 49                      |
| 5,15                     | 134                   | —   | 76                                 | 134     | 21       | 48                      |
| 5,20                     | 131                   | —   | 74                                 | 131     | 20       | 47                      |
| 5,25                     | 128                   | —   | 73                                 | 128     | 20       | 46                      |
| 5,30                     | 126                   | —   | 72                                 | 126     | —        | 45                      |
| 5,35                     | 124                   | —   | 71                                 | 124     | —        | 44                      |
| 5,40                     | 121                   | —   | 70                                 | 121     | —        | 44                      |
| 5,45                     | 118                   | —   | 69                                 | 118     | —        | 43                      |
| 5,50                     | 116                   | —   | 68                                 | 116     | —        | 42                      |
| 5,55                     | 114                   | —   | 67                                 | 114     | —        | 41                      |
| 5,60                     | 112                   | —   | 66                                 | 112     | —        | 40                      |
| 5,65                     | 109                   | —   | 65                                 | 109     | —        | 39                      |
| 5,70                     | 107                   | —   | 64                                 | 107     | —        | 38                      |
| 5,75                     | 105                   | —   | 62                                 | 105     | —        | 37                      |
| 5,80                     | 103                   | —   | 61                                 | 103     | —        | 37                      |
| 5,85                     | 101                   | —   | 60                                 | 101     | —        | 36                      |
| 5,90                     | 99                    | —   | 59                                 | 99      | —        | 36                      |
| 5,95                     | 97                    | —   | 57                                 | 97      | —        | 35                      |
| 6,00                     | 95                    | —   | 56                                 | 95      | —        | 34                      |

## 2.8 PARES DE APRIETE

### 2.8.1 Tablas de pares de apriete.

**Pares de apriete para tornillos tipo DIN-931 y DIN-933 con rosca métrica de paso grueso**

| Tamaño | Grado | Par de apriete $M_A$ en Nm para $\mu_K=$ |      |      |      |      |      |      |
|--------|-------|--|------|------|------|------|------|------|
|        |       | 0,08                                     | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,24 |
| M4     | 8.8   | 2,2                                      | 2,5  | 2,8  | 3,1  | 3,3  | 3,7  | 4,0  |
|        | 10.9  | 3,2                                      | 3,7  | 4,1  | 4,5  | 4,9  | 5,4  | 5,9  |
|        | 12.9  | 3,8                                      | 4,3  | 4,8  | 5,3  | 5,7  | 6,4  | 6,9  |
| M5     | 8.8   | 4,3                                      | 4,9  | 5,5  | 6,1  | 6,5  | 7,3  | 7,9  |
|        | 10.9  | 6,3                                      | 7,3  | 8,1  | 8,9  | 9,6  | 10,7 | 11,6 |
|        | 12.9  | 7,4                                      | 8,5  | 9,5  | 10,4 | 11,2 | 12,5 | 13,5 |
| M6     | 8.8   | 7,4                                      | 8,5  | 9,5  | 10,4 | 11,2 | 12,5 | 13,5 |
|        | 10.9  | 10,9                                     | 12,5 | 14,0 | 15,5 | 16,5 | 18,5 | 20,0 |
|        | 12.9  | 12,5                                     | 14,5 | 16,5 | 18,0 | 19,5 | 21,5 | 23,5 |
| M7     | 8.8   | 12,0                                     | 14,0 | 15,5 | 17,0 | 18,5 | 21,0 | 22,5 |
|        | 10.9  | 17,5                                     | 20,5 | 23,0 | 25   | 27   | 31   | 33   |
|        | 12.9  | 20,5                                     | 24,0 | 27   | 30   | 32   | 36   | 39   |
| M8     | 8.8   | 18                                       | 20,5 | 23   | 25   | 27   | 31   | 33   |
|        | 10.9  | 26                                       | 30   | 34   | 37   | 40   | 45   | 49   |
|        | 12.9  | 31                                       | 35   | 40   | 43   | 47   | 53   | 57   |
| M10    | 8.8   | 36                                       | 41   | 46   | 51   | 55   | 62   | 67   |
|        | 10.9  | 52                                       | 60   | 68   | 75   | 80   | 90   | 98   |
|        | 12.9  | 61                                       | 71   | 79   | 87   | 94   | 106  | 115  |
| M12    | 8.8   | 61                                       | 71   | 79   | 87   | 94   | 106  | 115  |
|        | 10.9  | 90                                       | 104  | 117  | 130  | 140  | 155  | 170  |
|        | 12.9  | 105                                      | 121  | 135  | 150  | 160  | 180  | 195  |
| M14    | 8.8   | 97                                       | 113  | 125  | 140  | 150  | 170  | 185  |
|        | 10.9  | 145                                      | 165  | 185  | 205  | 220  | 250  | 270  |
|        | 12.9  | 165                                      | 195  | 215  | 240  | 260  | 290  | 320  |
| M16    | 8.8   | 145                                      | 170  | 195  | 215  | 230  | 260  | 280  |
|        | 10.9  | 215                                      | 250  | 280  | 310  | 340  | 380  | 420  |
|        | 12.9  | 250                                      | 300  | 330  | 370  | 400  | 450  | 490  |
| M18    | 8.8   | 210                                      | 245  | 280  | 300  | 330  | 370  | 400  |
|        | 10.9  | 300                                      | 350  | 390  | 430  | 470  | 530  | 570  |
|        | 12.9  | 350                                      | 410  | 460  | 510  | 550  | 620  | 670  |
| M20    | 8.8   | 300                                      | 350  | 390  | 430  | 470  | 530  | 570  |
|        | 10.9  | 420                                      | 490  | 560  | 620  | 670  | 750  | 820  |
|        | 12.9  | 500                                      | 580  | 650  | 720  | 780  | 880  | 960  |
| M22    | 8.8   | 400                                      | 470  | 530  | 580  | 630  | 710  | 780  |
|        | 10.9  | 570                                      | 670  | 750  | 830  | 900  | 1020 | 1110 |
|        | 12.9  | 670                                      | 780  | 880  | 970  | 1050 | 1190 | 1300 |
| M24    | 8.8   | 510                                      | 600  | 670  | 740  | 800  | 910  | 990  |
|        | 10.9  | 730                                      | 850  | 960  | 1060 | 1140 | 1300 | 1400 |
|        | 12.9  | 850                                      | 1000 | 1120 | 1240 | 1350 | 1500 | 1650 |
| M27    | 8.8   | 750                                      | 880  | 1000 | 1100 | 1200 | 1350 | 1450 |
|        | 10.9  | 1070                                     | 1250 | 1400 | 1550 | 1700 | 1900 | 2100 |
|        | 12.9  | 1250                                     | 1450 | 1650 | 1850 | 2000 | 2250 | 2450 |
| M30    | 8.8   | 1000                                     | 1190 | 1350 | 1500 | 1600 | 1800 | 2000 |
|        | 10.9  | 1450                                     | 1700 | 1900 | 2100 | 2300 | 2600 | 2800 |
|        | 12.9  | 1700                                     | 2000 | 2250 | 2500 | 2700 | 3000 | 3300 |
| M33    | 8.8   | 1400                                     | 1600 | 1850 | 2000 | 2200 | 2500 | 2700 |
|        | 10.9  | 1950                                     | 2300 | 2600 | 2800 | 3100 | 3500 | 3900 |
|        | 12.9  | 2300                                     | 2700 | 3000 | 3400 | 3700 | 4100 | 4500 |
| M36    | 8.8   | 1750                                     | 2100 | 2350 | 2600 | 2800 | 3200 | 3500 |
|        | 10.9  | 2500                                     | 3000 | 3300 | 3700 | 4000 | 4500 | 4900 |
|        | 12.9  | 3000                                     | 3500 | 3900 | 4300 | 4700 | 5300 | 5800 |
| M39    | 8.8   | 2300                                     | 2700 | 3000 | 3400 | 3700 | 4100 | 4500 |
|        | 10.9  | 3300                                     | 3800 | 4300 | 4800 | 5200 | 5900 | 6400 |
|        | 12.9  | 3800                                     | 4500 | 5100 | 5600 | 6100 | 6900 | 7500 |

**Pares de apriete para espárragos de caña reducida con rosca métrica de paso grueso**

| Tamaño | Grado | Par de apriete $M_A$ en Nm para $\mu_K=$ |      |      |      |      |      |      |
|--------|-------|--|------|------|------|------|------|------|
|        |       | 0,08                                     | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,24 |
| M4     | 8.8   |  |      |      |      |      |      |      |
|        | 10.9  |  |      |      |      |      |      |      |
|        | 12.9  |  |      |      |      |      |      |      |
| M5     | 8.8   | 3,0                                      | 3,4  | 3,8  | 4,1  | 4,4  | 4,8  | 5,2  |
|        | 10.9  | 4,4                                      | 5,0  | 5,5  | 6,0  | 6,4  | 7,1  | 7,6  |
|        | 12.9  | 5,1                                      | 5,8  | 6,5  | 7,0  | 7,5  | 8,3  | 8,9  |
| M6     | 8.8   | 5,1                                      | 5,8  | 6,5  | 7,0  | 7,5  | 8,2  | 8,8  |
|        | 10.9  | 7,5                                      | 8,6  | 9,5  | 10,3 | 11,0 | 12,1 | 13,0 |
|        | 12.9  | 8,8                                      | 10,0 | 11,1 | 12,0 | 13,0 | 14,0 | 15,0 |
| M7     | 8.8   | 8,5                                      | 9,8  | 10,9 | 11,9 | 12,5 | 14,0 | 15,0 |
|        | 10.9  | 12,5                                     | 14,5 | 16,0 | 17,5 | 18,5 | 20,5 | 22,0 |
|        | 12.9  | 14,5                                     | 17,0 | 18,5 | 20,5 | 22,0 | 24,0 | 26,0 |
| M8     | 8.8   | 12,4                                     | 14,0 | 16,0 | 17,0 | 18,5 | 20,5 | 21,5 |
|        | 10.9  | 18,0                                     | 21,0 | 23,0 | 25,0 | 27,0 | 30,0 | 32,0 |
|        | 12.9  | 21,5                                     | 24,5 | 27,1 | 30,0 | 32,0 | 35,0 | 37,0 |
| M10    | 8.8   | 25                                       | 29   | 32   | 35   | 37   | 41   | 44   |
|        | 10.9  | 37                                       | 42   | 47   | 51   | 55   | 60   | 65   |
|        | 12.9  | 43                                       | 49   | 55   | 60   | 64   | 71   | 76   |
| M12    | 8.8   | 43                                       | 49   | 55   | 60   | 64   | 71   | 76   |
|        | 10.9  | 63                                       | 73   | 81   | 88   | 94   | 104  | 112  |
|        | 12.9  | 74                                       | 85   | 95   | 103  | 110  | 122  | 130  |
| M14    | 8.8   | 69                                       | 79   | 88   | 96   | 103  | 114  | 122  |
|        | 10.9  | 101                                      | 116  | 130  | 140  | 150  | 165  | 180  |
|        | 12.9  | 118                                      | 135  | 150  | 165  | 175  | 195  | 210  |
| M16    | 8.8   | 106                                      | 123  | 135  | 150  | 160  | 180  | 195  |
|        | 10.9  | 155                                      | 180  | 200  | 220  | 235  | 260  | 280  |
|        | 12.9  | 185                                      | 210  | 235  | 280  | 280  | 310  | 330  |
| M18    | 8.8   | 150                                      | 175  | 195  | 210  | 225  | 250  | 270  |
|        | 10.9  | 215                                      | 245  | 280  | 300  | 320  | 360  | 380  |
|        | 12.9  | 250                                      | 290  | 320  | 350  | 380  | 420  | 450  |
| M20    | 8.8   | 215                                      | 250  | 280  | 300  | 330  | 360  | 390  |
|        | 10.9  | 310                                      | 350  | 400  | 430  | 460  | 520  | 560  |
|        | 12.9  | 360                                      | 410  | 460  | 510  | 540  | 610  | 650  |
| M22    | 8.8   | 290                                      | 340  | 380  | 420  | 450  | 500  | 540  |
|        | 10.9  | 420                                      | 480  | 540  | 590  | 640  | 710  | 770  |
|        | 12.9  | 490                                      | 560  | 630  | 690  | 740  | 830  | 900  |
| M24    | 8.8   | 370                                      | 430  | 480  | 520  | 560  | 620  | 670  |
|        | 10.9  | 530                                      | 610  | 680  | 740  | 800  | 890  | 960  |
|        | 12.9  | 620                                      | 710  | 800  | 870  | 940  | 1040 | 1120 |
| M27    | 8.8   | 550                                      | 640  | 720  | 790  | 850  | 940  | 1020 |
|        | 10.9  | 780                                      | 910  | 1020 | 1120 | 1200 | 1350 | 1450 |
|        | 12.9  | 920                                      | 1060 | 1190 | 1300 | 1400 | 1550 | 1700 |
| M30    | 8.8   | 740                                      | 860  | 970  | 1060 | 1140 | 1250 | 1350 |
|        | 10.9  | 1060                                     | 1230 | 1400 | 1500 | 1600 | 1800 | 1950 |
|        | 12.9  | 1240                                     | 1450 | 1600 | 1750 | 1900 | 2100 | 2300 |
| M33    | 8.8   | 1010                                     | 1180 | 1300 | 1450 | 1550 | 1750 | 1900 |
|        | 10.9  | 1450                                     | 1700 | 1900 | 2050 | 2250 | 2500 | 2700 |
|        | 12.9  | 1700                                     | 1950 | 2200 | 2400 | 2600 | 2900 | 3100 |
| M36    | 8.8   | 1300                                     | 1500 | 1700 | 1850 | 2000 | 2250 | 2400 |
|        | 10.9  | 1850                                     | 2150 | 2400 | 2600 | 2800 | 3200 | 3400 |
|        | 12.9  | 2150                                     | 2500 | 2800 | 3100 | 3300 | 3700 | 4000 |
| M39    | 8.8   | 1700                                     | 1950 | 2200 | 2400 | 2600 | 2900 | 3200 |
|        | 10.9  | 2400                                     | 2800 | 3100 | 3500 | 3700 | 4200 | 4500 |
|        | 12.9  | 2800                                     | 3300 | 3700 | 4000 | 4400 | 4900 | 5300 |

**2.8 PARES DE APRIETE**
**Pares de apriete para tornillos tipo DIN-931 y DIN-933 con rosca métrica de paso fino**

| Tamaño   | Grado | Par de apriete $M_A$ en Nm para $\mu_K=$ |      |      |      |      |      |      |
|----------|-------|--|------|------|------|------|------|------|
|          |       | 0,08                                     | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,24 |
| M8x1     | 8.8   | 19                                       | 22   | 24,5 | 27   | 30   | 33   | 36   |
|          | 10.9  | 28                                       | 32   | 36   | 40   | 43   | 49   | 53   |
|          | 12.9  | 32                                       | 38   | 43   | 47   | 51   | 57   | 62   |
| M9x1     | 8.8   | 27                                       | 32   | 36   | 40   | 43   | 49   | 53   |
|          | 10.9  | 40                                       | 46   | 53   | 58   | 63   | 71   | 78   |
|          | 12.9  | 46                                       | 54   | 62   | 68   | 74   | 83   | 91   |
| M10x1    | 8.8   | 39                                       | 45   | 52   | 57   | 62   | 70   | 77   |
|          | 10.9  | 57                                       | 67   | 76   | 84   | 91   | 103  | 113  |
|          | 12.9  | 66                                       | 78   | 89   | 98   | 107  | 121  | 130  |
| M10x1,25 | 8.8   | 37                                       | 43   | 49   | 54   | 58   | 66   | 72   |
|          | 10.9  | 55                                       | 64   | 72   | 79   | 86   | 97   | 105  |
|          | 12.9  | 64                                       | 74   | 84   | 93   | 100  | 113  | 123  |
| M12x1,25 | 8.8   | 65                                       | 77   | 87   | 96   | 104  | 118  | 130  |
|          | 10.9  | 96                                       | 112  | 125  | 140  | 150  | 175  | 190  |
|          | 12.9  | 112                                      | 130  | 150  | 165  | 180  | 205  | 225  |
| M12x1,5  | 8.8   | 63                                       | 74   | 83   | 92   | 99   | 112  | 122  |
|          | 10.9  | 93                                       | 108  | 122  | 135  | 145  | 165  | 180  |
|          | 12.9  | 109                                      | 125  | 145  | 155  | 170  | 190  | 210  |
| M14x1,5  | 8.8   | 103                                      | 121  | 135  | 150  | 165  | 185  | 205  |
|          | 10.9  | 150                                      | 175  | 200  | 220  | 240  | 270  | 300  |
|          | 12.9  | 175                                      | 205  | 235  | 260  | 280  | 320  | 350  |
| M16x1,5  | 8.8   | 155                                      | 180  | 205  | 230  | 250  | 280  | 310  |
|          | 10.9  | 225                                      | 270  | 300  | 340  | 370  | 420  | 450  |
|          | 12.9  | 270                                      | 310  | 360  | 390  | 430  | 490  | 530  |
| M18x1,5  | 8.8   | 230                                      | 270  | 310  | 350  | 380  | 430  | 470  |
|          | 10.9  | 330                                      | 390  | 440  | 490  | 540  | 610  | 670  |
|          | 12.9  | 380                                      | 450  | 520  | 580  | 630  | 710  | 780  |
| M18x2    | 8.8   | 220                                      | 260  | 290  | 330  | 350  | 400  | 430  |
|          | 10.9  | 320                                      | 370  | 420  | 460  | 500  | 570  | 620  |
|          | 12.9  | 370                                      | 430  | 490  | 540  | 590  | 660  | 720  |
| M20x1,5  | 8.8   | 320                                      | 380  | 430  | 480  | 530  | 600  | 660  |
|          | 10.9  | 460                                      | 540  | 620  | 690  | 750  | 850  | 940  |
|          | 12.9  | 530                                      | 630  | 720  | 800  | 880  | 1000 | 1090 |
| M22x1,5  | 8.8   | 430                                      | 510  | 580  | 640  | 700  | 800  | 880  |
|          | 10.9  | 610                                      | 720  | 820  | 920  | 1000 | 1140 | 1250 |
|          | 12.9  | 710                                      | 840  | 960  | 1070 | 1170 | 1350 | 1450 |
| M24x1,5  | 8.8   | 640                                      | 700  | 760  | 830  | 890  | 1020 | 1140 |
|          | 10.9  | 900                                      | 990  | 1090 | 1180 | 1270 | 1450 | 1630 |
|          | 12.9  | 1060                                     | 1170 | 1270 | 1380 | 1480 | 1690 | 1910 |
| M24x2    | 8.8   | 540                                      | 640  | 730  | 810  | 890  | 1010 | 1100 |
|          | 10.9  | 780                                      | 920  | 1040 | 1160 | 1250 | 1450 | 1550 |
|          | 12.9  | 910                                      | 1070 | 1220 | 1350 | 1500 | 1700 | 1850 |
| M27x1,5  | 8.8   | 920                                      | 1010 | 1110 | 1200 | 1290 | 1480 | 1670 |
|          | 10.9  | 1310                                     | 1440 | 1580 | 1710 | 1840 | 2110 | 2380 |
|          | 12.9  | 1530                                     | 1690 | 1850 | 2000 | 2160 | 2470 | 2780 |
| M27x2    | 8.8   | 790                                      | 940  | 1070 | 1190 | 1300 | 1500 | 1600 |
|          | 10.9  | 1130                                     | 1350 | 1500 | 1700 | 1850 | 2100 | 2300 |
|          | 12.9  | 1300                                     | 1550 | 1800 | 2000 | 2150 | 2450 | 2700 |
| M30x1,5  | 8.8   | 1280                                     | 1410 | 1540 | 1670 | 1800 | 2060 | 2320 |
|          | 10.9  | 1820                                     | 2000 | 2190 | 2370 | 2560 | 2930 | 3300 |
|          | 12.9  | 2130                                     | 2340 | 2560 | 2780 | 2990 | 3430 | 3860 |
| M30x2    | 8.8   | 1240                                     | 1370 | 1490 | 1610 | 1740 | 1990 | 2240 |
|          | 10.9  | 1770                                     | 1940 | 2120 | 2300 | 2480 | 2830 | 3190 |
|          | 12.9  | 2070                                     | 2270 | 2480 | 2690 | 2900 | 3310 | 3730 |
| M33x1,5  | 8.8   | 1700                                     | 1880 | 2050 | 2220 | 2400 | 2740 | 3090 |
|          | 10.9  | 2430                                     | 2670 | 2920 | 3170 | 3410 | 3910 | 4400 |
|          | 12.9  | 2840                                     | 3130 | 3420 | 3710 | 4000 | 4570 | 5150 |
| M33x2    | 8.8   | 1450                                     | 1750 | 2000 | 2250 | 2450 | 2800 | 3100 |
|          | 10.9  | 2100                                     | 2500 | 2800 | 3200 | 3500 | 4000 | 4300 |
|          | 12.9  | 2450                                     | 2900 | 3300 | 3700 | 4100 | 4600 | 5100 |

| Tamaño  | Grado | Par de apriete $M_A$ en Nm para $\mu_K=$ |      |      |      |      |      |      |
|---------|-------|--|------|------|------|------|------|------|
|         |       | 0,08                                     | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,24 |
| M36x1,5 | 8.8   | 2230                                     | 2450 | 2680 | 2910 | 3140 | 3590 | 4050 |
|         | 10.9  | 3170                                     | 3490 | 3820 | 4140 | 4470 | 5110 | 5760 |
|         | 12.9  | 3710                                     | 4090 | 4470 | 4850 | 5230 | 5980 | 6740 |
| M36x3   | 8.8   | 1850                                     | 2200 | 2500 | 2800 | 3000 | 3400 | 3700 |
|         | 10.9  | 2600                                     | 3100 | 3500 | 3900 | 4300 | 4900 | 5300 |
|         | 12.9  | 3100                                     | 3600 | 4100 | 4600 | 5000 | 5700 | 6200 |
| M39x1,5 | 8.8   | 2850                                     | 3140 | 3430 | 3720 | 4010 | 4600 | 5180 |
|         | 10.9  | 4050                                     | 4470 | 4890 | 5300 | 5720 | 6550 | 7380 |
|         | 12.9  | 4740                                     | 5230 | 5720 | 6200 | 6690 | 7670 | 8640 |
| M39x3   | 8.8   | 2350                                     | 2800 | 3200 | 3600 | 3900 | 4400 | 4800 |
|         | 10.9  | 3400                                     | 4000 | 4600 | 5100 | 5500 | 6300 | 6900 |
|         | 12.9  | 3900                                     | 4700 | 5300 | 5900 | 6500 | 7400 | 8100 |

**Pares de apriete para espárragos de caña reducida con rosca métrica de paso fino**

| Tamaño   | Grado | Par de apriete $M_A$ en Nm para $\mu_K=$ |      |      |      |      |      |      |
|----------|-------|--|------|------|------|------|------|------|
|          |       | 0,08                                     | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,24 |
| M8x1     | 8.8   | 13,5                                     | 15,5 | 17,5 | 19   | 20,5 | 23   | 24,5 |
|          | 10.9  | 20                                       | 23   | 26   | 28   | 30   | 34   | 36   |
|          | 12.9  | 23,5                                     | 27   | 30   | 33   | 35   | 39   | 42   |
| M9x1     | 8.8   | 19,5                                     | 23   | 26   | 28   | 30   | 34   | 37   |
|          | 10.9  | 29                                       | 34   | 38   | 41   | 45   | 50   | 54   |
|          | 12.9  | 34                                       | 39   | 44   | 49   | 52   | 58   | 63   |
| M10x1    | 8.8   | 29                                       | 33   | 37   | 41   | 44   | 50   | 54   |
|          | 10.9  | 42                                       | 49   | 55   | 61   | 65   | 73   | 79   |
|          | 12.9  | 49                                       | 57   | 64   | 71   | 76   | 85   | 92   |
| M10x1,25 | 8.8   | 27                                       | 31   | 35   | 38   | 41   | 45   | 49   |
|          | 10.9  | 39                                       | 45   | 51   | 56   | 60   | 67   | 72   |
|          | 12.9  | 46                                       | 53   | 60   | 65   | 70   | 78   | 84   |
| M12x1,25 | 8.8   | 48                                       | 56   | 63   | 69   | 74   | 83   | 90   |
|          | 10.9  | 71                                       | 82   | 92   | 101  | 109  | 122  | 130  |
|          | 12.9  | 83                                       | 96   | 108  | 119  | 130  | 145  | 155  |
| M12x1,5  | 8.8   | 46                                       | 53   | 59   | 64   | 69   | 77   | 83   |
|          | 10.9  | 67                                       | 77   | 87   | 95   | 102  | 113  | 122  |
|          | 12.9  | 78                                       | 91   | 101  | 111  | 119  | 130  | 145  |
| M14x1,5  | 8.8   | 75                                       | 88   | 99   | 108  | 117  | 130  | 140  |
|          | 10.9  | 111                                      | 130  | 145  | 160  | 170  | 190  | 205  |
|          | 12.9  | 130                                      | 150  | 170  | 185  | 200  | 225  | 240  |
| M16x1,5  | 8.8   | 115                                      | 135  | 150  | 165  | 180  | 200  | 220  |
|          | 10.9  | 170                                      | 195  | 220  | 245  | 260  | 300  | 320  |
|          | 12.9  | 195                                      | 230  | 260  | 290  | 310  | 350  | 370  |
| M18x1,5  | 8.8   | 175                                      | 205  | 230  | 250  | 270  | 310  | 330  |
|          | 10.9  | 245                                      | 290  | 330  | 360  | 390  | 440  | 470  |
|          | 12.9  | 290                                      | 340  | 380  | 420  | 460  | 510  | 560  |
| M18x2    | 8.8   | 160                                      | 190  | 210  | 230  | 250  | 280  | 300  |
|          | 10.9  | 230                                      | 270  | 300  | 330  | 360  | 400  | 430  |
|          | 12.9  | 270                                      | 310  | 350  | 390  | 420  | 460  | 500  |
| M20x1,5  | 8.8   | 240                                      | 290  | 320  | 360  | 390  | 430  | 470  |
|          | 10.9  | 350                                      | 410  | 460  | 510  | 550  | 620  | 670  |
|          | 12.9  | 400                                      | 480  | 540  | 590  | 640  | 720  | 790  |
| M22x1,5  | 8.8   | 320                                      | 380  | 430  | 480  | 520  | 590  | 640  |
|          | 10.9  | 460                                      | 540  | 620  | 680  | 740  | 830  | 900  |
|          | 12.9  | 540                                      | 640  | 720  | 800  | 870  | 980  | 1060 |

2.8 PARES DE APRIETE

Pares de apriete para espárragos de caña rebajada con rosca métrica de paso fino (Cont.)

| Tamaño  | Grado | Par de apriete $M_A$ en Nm para $\mu_K=$ |      |      |      |      |      |      |
|---------|-------|--|------|------|------|------|------|------|
|         |       | 0,08                                     | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,24 |
| M24x1,5 | 8.8   | 480                                      | 530  | 580  | 620  | 670  | 750  | 860  |
|         | 10.9  | 680                                      | 750  | 820  | 890  | 960  | 1090 | 1230 |
|         | 12.9  | 800                                      | 880  | 960  | 1040 | 1120 | 1280 | 1440 |
| M24x2   | 8.8   | 410                                      | 480  | 540  | 600  | 650  | 730  | 790  |
|         | 10.9  | 580                                      | 680  | 770  | 850  | 920  | 1030 | 1120 |
|         | 12.9  | 680                                      | 800  | 900  | 1000 | 1080 | 1210 | 1300 |
| M27x1,5 | 8.8   | 700                                      | 770  | 840  | 910  | 980  | 1120 | 1270 |
|         | 10.9  | 990                                      | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1600 | 1800 |
|         | 12.9  | 1160                                     | 1280 | 1400 | 1520 | 1640 | 1870 | 2110 |
| M27x2   | 8.8   | 600                                      | 700  | 800  | 880  | 960  | 1080 | 1170 |
|         | 10.9  | 850                                      | 1000 | 1140 | 1250 | 1350 | 1550 | 1650 |
|         | 12.9  | 1000                                     | 1170 | 1350 | 1450 | 1600 | 1800 | 1950 |
| M30x1,5 | 8.8   | 970                                      | 1070 | 1170 | 1270 | 1370 | 1570 | 1770 |
|         | 10.9  | 1380                                     | 1520 | 1670 | 1810 | 1950 | 2230 | 2510 |
|         | 12.9  | 1620                                     | 1790 | 1950 | 2120 | 2280 | 2610 | 2940 |
| M30x2   | 8.8   | 930                                      | 1030 | 1120 | 1210 | 1310 | 1490 | 1680 |
|         | 10.9  | 1330                                     | 1460 | 1590 | 1730 | 1860 | 2130 | 2390 |
|         | 12.9  | 1550                                     | 1710 | 1870 | 2020 | 2180 | 2490 | 2800 |

| Tamaño  | Grado | Par de apriete $M_A$ en Nm para $\mu_K=$ |      |      |      |      |      |      |
|---------|-------|--|------|------|------|------|------|------|
|         |       | 0,08                                     | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,24 |
| M33x1,5 | 8.8   | 1300                                     | 1440 | 1570 | 1700 | 1830 | 2100 | 2360 |
|         | 10.9  | 1860                                     | 2050 | 2230 | 2420 | 2610 | 2990 | 3370 |
|         | 12.9  | 2170                                     | 2390 | 2610 | 2840 | 3060 | 3500 | 3940 |
| M33x2   | 8.8   | 1120                                     | 1300 | 1500 | 1650 | 1800 | 2050 | 2200 |
|         | 10.9  | 1600                                     | 1900 | 2150 | 2400 | 2600 | 2900 | 3200 |
|         | 12.9  | 1850                                     | 2200 | 2500 | 2800 | 3000 | 3400 | 3700 |
| M36x1,5 | 8.8   | 1710                                     | 1880 | 2060 | 2230 | 2410 | 2760 | 3110 |
|         | 10.9  | 2430                                     | 2680 | 2930 | 3180 | 3430 | 3920 | 4420 |
|         | 12.9  | 2850                                     | 3140 | 3430 | 3720 | 4010 | 4590 | 5170 |
| M36x3   | 8.8   | 1400                                     | 1600 | 1850 | 2000 | 2200 | 2450 | 2700 |
|         | 10.9  | 1950                                     | 2300 | 2600 | 2900 | 3100 | 3500 | 3800 |
|         | 12.9  | 2300                                     | 2700 | 3100 | 3400 | 3600 | 4100 | 4400 |
| M39x1,5 | 8.8   | 2190                                     | 2410 | 2640 | 2860 | 3090 | 3540 | 3990 |
|         | 10.9  | 3120                                     | 3440 | 3760 | 4080 | 4400 | 5040 | 5680 |
|         | 12.9  | 3650                                     | 4020 | 4400 | 4770 | 5150 | 5900 | 6650 |
| M39x3   | 8.8   | 1800                                     | 2100 | 2400 | 2600 | 2800 | 3200 | 3500 |
|         | 10.9  | 2500                                     | 3000 | 3400 | 3700 | 4100 | 4600 | 4900 |
|         | 12.9  | 3000                                     | 3500 | 4000 | 4400 | 4700 | 5300 | 5800 |

2.8.2 Coeficientes de fricción.

a) Coeficientes de fricción en función de las superficies

| $\mu_G$               | Rosca   |          |               |         | Rosca externa, tornillo |            |           |                  |               |                      |                |        |           |      |
|-----------------------|---------|----------|---------------|---------|-------------------------|------------|-----------|------------------|---------------|----------------------|----------------|--------|-----------|------|
|                       | Rosca   | Material |               |         | Acero                   |            |           |                  |               |                      |                |        |           |      |
|                       |         | Material | Recubrimiento |         | Óxido negro o fosfatado |            |           |                  | Zincado (Zn6) |                      | Cadmiado (Cd6) |        | Adhesivo  |      |
|                       |         |          | Recubrim.     | Fabr.   | Lubricac.               | Conformado |           |                  | Cortado       | Conformado o cortado |                |        |           |      |
|                       |         |          |               |         |                         | Seco       | Engrasado | MoS <sub>2</sub> | Engrasado     | Seco                 | Engrasado      | Seco   | Engrasado | Seco |
| Rosca interna, tuerca | Acero   | Ninguno  | Cortado       | Seco    | 0,12                    | 0,10       | 0,08      | 0,10             | -             | 0,10                 | -              | 0,08   | 0,16      |      |
|                       |         |          |               |         | a 0,18                  | a 0,16     | a 0,12    | a 0,16           | -             | a 0,18               | -              | a 0,14 | a 0,25    |      |
|                       |         |          |               |         | 0,10                    | -          | -         | -                | 0,12          | 0,10                 | -              | -      | 0,14      |      |
|                       |         | a 0,16   |               |         | -                       | -          | -         | a 0,20           | a 0,18        | -                    | -              | a 0,25 |           |      |
|                       |         | 0,08     |               |         | -                       | -          | -         | -                | -             | 0,12                 | 0,12           | -      |           |      |
|                       |         | a 0,14   |               |         | -                       | -          | -         | -                | -             | a 0,16               | a 0,14         | -      |           |      |
|                       | GG/GTS  | Ninguno  | Ninguno       | Cortado | Seco                    | -          | 0,10      | -                | 0,10          | -                    | 0,10           | -      | 0,08      | -    |
|                       |         |          |               |         |                         | -          | a 0,18    | -                | a 0,18        | -                    | a 0,18         | -      | a 0,16    | -    |
|                       | Al / Mg | Ninguno  | Ninguno       | Cortado | Seco                    | -          | 0,08      | -                | -             | -                    | -              | -      | -         | -    |
|                       |         |          |               |         |                         | -          | a 0,20    | -                | -             | -                    | -              | -      | -         | -    |

2.8 PARES DE APRIETE

| Superficie de rozamiento | Superficie de rozamiento |            |               |             | Cabeza del tornillo     |             |                  |             |                  |             |               |             |              |             |
|--------------------------|--------------------------|------------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
|                          | Material                 | Material   |               |             | Acero                   |             |                  |             |                  |             |               |             |              |             |
|                          |                          | Recubrim.  | Recubrimiento |             | Óxido negro o fosfatado |             |                  |             |                  |             | Zincado (Zn6) |             | Cadmio (Cd6) |             |
|                          |                          |            | Fabr.         | Fabricación |                         | Forjado     |                  | Torneado    |                  | Basto       | Forjado       |             |              |             |
|                          |                          |            |               | Lubricac.   | Seco                    | Engrasado   | MoS <sub>2</sub> | Engrasado   | MoS <sub>2</sub> | Engrasado   | Seco          | Engrasado   | Seco         | Engrasado   |
| Superficie antagonista   | Acero                    | Ninguno    | Basto         | Seco        | -                       | 0,16 a 0,22 | -                | 0,10 a 0,18 | -                | 0,16 a 0,22 | 0,10 a 0,18   | -           | 0,08 a 0,16  | -           |
|                          |                          |            |               |             | 0,12 a 0,18             | 0,10 a 0,18 | 0,08 a 0,12      | 0,10 a 0,18 | 0,08 a 0,12      | -           | 0,10 a 0,18   |             | 0,08 a 0,16  | 0,08 a 0,14 |
|                          |                          | Zincado    | Mecanizado    |             | 0,10 a 0,16             |             | -                | 0,10 a 0,16 | -                | 0,10 a 0,18 | 0,16 a 0,20   | 0,10 a 0,18 | -            | -           |
|                          |                          |            |               |             | 0,08 a 0,16             |             |                  |             | -                | -           | 0,12 a 0,20   | 0,12 a 0,14 |              |             |
|                          |                          | Cadmio     | Mecanizado    |             | -                       | 0,10 a 0,18 | -                | -           | -                | 0,10 a 0,18 |               |             | 0,08 a 0,16  | -           |
|                          |                          |            |               |             | -                       | 0,14 a 0,20 | -                | 0,10 a 0,18 | -                | 0,14 a 0,22 | 0,10 a 0,18   | 0,10 a 0,16 | 0,08 a 0,16  | -           |
|                          | GG/GTS                   | Basto      | -             |             | 0,08 a 0,20             |             |                  |             | -                | -           | -             | -           | -            |             |
|                          |                          |            | -             |             | 0,08 a 0,20             |             |                  |             | -                | -           | -             | -           | -            |             |
|                          | Al / Mg                  | Ninguno    | Basto         |             | -                       | 0,08 a 0,20 |                  |             |                  | -           | -             | -           | -            |             |
|                          |                          |            |               |             | -                       | 0,08 a 0,20 |                  |             |                  | -           | -             | -           | -            |             |
|                          | Al / Mg                  | Mecanizado | Basto         |             | -                       | 0,08 a 0,20 |                  |             |                  | -           | -             | -           | -            |             |
|                          |                          |            |               |             | -                       | 0,08 a 0,20 |                  |             |                  | -           | -             | -           | -            |             |

b) Coeficientes de fricción para tuercas y tornillos de acero inoxidable

| Material de la superficie antagonista       | Material del tornillo | Material de la tuerca | Lubricante     |                 | Elasticidad de la unión | Coeficiente de fricción |                         |
|---|-----------------------|-----------------------|----------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|   |                       |                       | Sobre la rosca | Dentro la rosca |                         | Sobre la rosca $\mu_G$  | Dentro la rosca $\mu_K$ |
|   |                       |                       | A2             | A2              |                         | A2                      | Ninguno                 |
| Lubricante especial (base de cloroparafina) |                       | 0,12 a 0,23           |                |                 | 0,08 a 0,12             |                         |                         |
| Grasa para proteger la corrosión            |                       | 0,26 a 0,45           |                |                 | 0,25 a 0,35             |                         |                         |
| Ninguno                                     | Ninguno               | Baja                  |                |                 | 0,23 a 0,35             |                         | 0,12 a 0,16             |
| Lubricante especial (base de cloroparafina) |                       |                       |                |                 | 0,10 a 0,16             |                         | 0,08 a 0,12             |
| Ninguno                                     |                       |                       |                |                 | Muy alta                |                         | 0,32 a 0,43             |
| Lubricante especial (base de cloroparafina) |                       | 0,28 a 0,35           | 0,08 a 0,11    |                 |                         |                         |                         |

## 2.9 DIMENSIONADO DE UNIONES ATORNILLADAS

### 2.9.1 Estimación de los diámetros de los tornillos.

| Carga en N | 1                       | 2    | 3   | 4  |
|------------|-------------------------|------|-----|----|
|            | Diámetro nominal en mm. |      |     |    |
|            | Clase de calidad        |      |     |    |
|            | 12,9                    | 10,9 | 8,8 |    |
| 250        |                         |      |     |    |
| 400        |                         |      |     |    |
| 630        |                         |      |     |    |
| 1000       |                         |      |     |    |
| 1600       |                         |      |     |    |
| 2500       | 3                       | 3    |     | 3  |
| 4000       | 3                       | 3    |     | 4  |
| 6300       | 4                       | 4    |     | 5  |
| 10000      | 4                       | 5    |     | 5  |
| 16000      | 5                       | 6    |     | 8  |
| 25000      | 6                       | 8    |     | 8  |
| 40000      | 8                       | 10   |     | 10 |
| 63000      | 10                      | 12   |     | 14 |
| 100000     | 12                      | 14   |     | 16 |
| 160000     | 16                      | 16   |     | 20 |
| 250000     | 20                      | 20   |     | 24 |
| 400000     | 24                      | 27   |     | 30 |
| 630000     | 30                      | 36   |     |    |

**Ejemplo:**

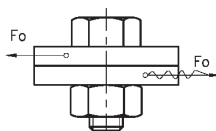
Una unión está cargada dinámicamente y excéntrica por la carga axial  $F_A = 85000N$ .

Un tornillo de calidad 12.9 debe de montarse empleando una llave dinamométrica.

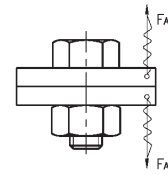
- A. 10.000N es la carga próxima más grande respecto a  $F_A$ . En la columna 1.
- B. Subir dos niveles ya que la carga es axial excéntrica y dinámica; tenemos  $F_{Mmín.} = 25000N$ .
- C. Subir un nivel, por el empleo de una llave dinamométrica;  $F_{Mmáx.} = 40.000N$ .
- D. Para  $F_{Mmáx.} = 40.000N$ . encontramos en la columna dos, clase de calidad 12.9 el tornillo M10.

**Pasos:**

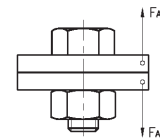
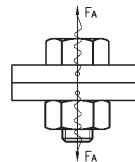
- A. Seleccionar la carga mas baja de la columna 1 que este por encima de la carga de trabajo  $F_{AQ}$ . que actúa sobre las uniones atornilladas.
- B. La carga mínima de presión (unión), necesaria  $F_{Mmín.}$  es determinada subiendo niveles en la columna 1 según sea la aplicación:  
  
4 niveles o más para las cargas o dinámicas transversales, o,



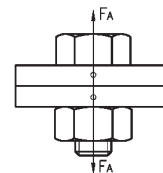
2 niveles para las cargas axiales aplicadas dinámicamente o excéntricamente, o,



1 nivel para cargas de trabajo aplicadas dinámicamente y concéntricamente, o aplicadas estática y excéntricamente, o,



0 niveles para cargas axiales aplicadas estática y concéntricamente.



C. La carga máxima de presión (unión),  $F_{Mmáx.}$  inicialmente necesaria, se determina incrementando:

2 niveles en el caso de apretar el tornillo con una herramienta normal, o,

1 nivel en el caso de apretar con una llave dinamométrica, o una herramienta que controle la medición del par dinámico o la medición de la elongación del tornillo, o,

0 niveles en el caso de apriete mediante el control de ángulo en la zona plástica o controlando el límite elástico mediante un ordenador.

D. Para un nivel determinado las columnas 2 a 4 dan las dimensiones del necesarias del tornillo en mm. en función de la clase de calidad del tornillo seleccionado.

### 2.9.2 Longitud de rosado útil para agujeros ciegos.

| Clase de calidad del tornillo | 8.8   | 8.8 | 10.9   | 10.9  |
|-------------------------------|-------|-----|--------|-------|
| Finura de la rosca d/P        | <9    | ≥9  | <9     | ≥9    |
| AlCuMg 1 F40                  | 1,1 d |     | 1,4 d  | -     |
| GG-22                         | 1,0 d |     | 1,2 d  | 1,4 d |
| St37                          | 1,0 d |     | 1,25 d | 1,4 d |
| St50                          | 0,9 d |     | 1,0 d  | 1,2 d |
| C45V                          | 0,8 d |     | 0,9 d  | 1,0 d |

## 2.9 DIMENSIONADO DE UNIONES ATORNILLADAS

### 2.9.3 Presión superficial máxima.

| Material                                      | Resistencia a la tracción<br>$R_m$ en N/mm <sup>2</sup> | Presión de la superficie límite*)<br>$p_G$ en N/mm <sup>2</sup> |
|---|---|---|
| St37  | 370   | 260   |
| St50  | 500   | 420   |
| C45   | 800   | 700   |
| 42 CrMo4                                      | 1000  | 850   |
| 30 CrNiMo8                                    | 1200  | 750   |
| X5CrNiMo1810**)                               | 500 a 700   | 210   |
| X10CrNiMo189**)                               | 500 a 750   | 220   |
| Inoxidable, precipitación material endurecido | 1200 a 1500   | 1000 a 1250   |
| Titanio,                                      | 390 a 540   | 300   |
| Ti-6AL-4V                                     | 1100  | 1000  |
| GG 15   | 150   | 600   |
| GG 25   | 250   | 800   |

\*) Para roscado a máquina los valores de presión de superficie pueden reducirse hasta un 25%.

| Material                                      | Resistencia a la tracción<br>$R_m$ en N/mm <sup>2</sup> | Presión de la superficie límite*)<br>$p_G$ en N/mm <sup>2</sup> |
|---|---|---|
| GG 35   | 350   | 900   |
| GG 40   | 400   | 1100  |
| GGG 35,3                                      | 350   | 480   |
| GD MgAl9                                      | 300 (200)   | 220 (140)   |
| GK MgAl9                                      | 200 (300)   | 140 (220)   |
| GK AlSi6 Cu4                                  | -   | 200   |
| AlZnMgCu 0,5                                  | 450   | 370   |
| Al 99   | 160   | 140   |
| GFK compuesto (plástico reforzado con vidrio) | -   | 120   |
| CFK compuesto (carbono con fibra epoxi)       | -   | 140   |

\*\*) Para materiales trabajados en frío, el límite de presión de superficie puede ser considerablemente más alto.

### 2.9.4 Medidas para mejorar la fuerza de apriete en las uniones atornilladas.

| Influencia sobre la fuerza de resistencia por:                         | Efectividad de esta medida para un incremento en la fuerza de resistencia.  | Razón  |
|--|---|--|
| 1) Reducción del diámetro de la rosca $d$ .                            | Posible mejora destacada dentro del rango $d < 40$ mm.  | El incremento en la fuerza de resistencia con la reducción del diámetro de rosca está atribuida a la influencia de la medida del tornillo sobre las propiedades mecánicas, efecto micro-estructural.   |
| 2) Aumento de la precarga.   | Mejora destacada debido indirectamente a la reducción de fuerzas en el tornillo. Ninguna mejora directa debida a una capacidad de carga incrementada.                               | Con una precarga creciente, las fuerzas de cohesión residuales de la unión también decrecen. Así, el peligro de apertura de una cara de dicha unión se reduce. Por lo tanto, el tornillo está sujeto a un esfuerzo adicional reducido. Para tornillos de rosca hecha por rodadura, después de un incremento de la temperatura, la fuerza de resistencia disminuye con un aumento de la precarga debido a la reducción de la tensión compresiva residual. No es posible en tornillos de rosca hecha por rodadura, antes del tratamiento de calor, porque no hay dependencia de la precarga. |
| 3) Material del tornillo y fuerza del material del tornillo.           | Mejora insignificante por selección del material del tornillo. Mejora directa insignificante por la resistencia del material del tornillo. Sólo indirecta para precargas más altas. | El efecto de entalla dominante suprime una influencia del material, una vez la capacidad de fluidez del material es suficientemente alta como para prevenir daños durante la instalación tirando de la capa de superficie altamente solicitada en el menor diámetro. Igualmente, el efecto beneficioso de una dureza más elevada es contrarrestado por una sensibilidad del efecto de entalla más elevada.   |
| 4) Lubricación en la rosca.  | Posible mejora limitada.  | Las resistencias a los repetidos movimientos provocada por el rozamiento entre la rosca del tornillo y los flancos de la tuerca son reducidos considerablemente con un buen lubricante.  |
| 5) Roscado por rodadura después del tratamiento de calor (R.T.A.H.T.)  | Mejora destacada (hasta un 100%) especialmente para precargas bajas. Para precargas altas este efecto positivo se reduce.   | La fuerza compresiva residual, inducida por la fabricación, tiene un efecto aumentador sobre la resistencia especialmente para precargas bajas. Con un incremento de la fuerza de precarga, la influencia de la fuerza compresiva residual se reduce: dependencia de la precarga de los tornillos RTAHT. Para precargas en el rango de las cargas de elasticidad de los tornillos, el efecto de la fuerza compresiva residual puede desaparecer casi totalmente.   |
| 6) Carburización de la superficie o descarbonización de la superficie. | Posible mejora limitada.  | Una superficie carburizada y frágil, puede derivar en daños tempranos debido a la reducida capacidad de fluidez del metal. Una superficie descarbonizada de todos modos, no tiene ningún efecto sobre la fuerza de resistencia.  |
| 7) Incremento en el paso de rosca.                                     | Posible mejoría limitada.   | Es verdad que con un paso creciente, el efecto de entalla en la rosca se reduce, debido al mayor radio en la raíz de los hilos de rosca. Por otra parte, el diámetro menor de los hilos de rosca decrece. Por lo tanto, la influencia del efecto de entalla es compensado. Para roscas relativamente buenas ( $d/P > 12$ ) y para una resistencia alta del material ( $\leq 12,9$ ), el efecto de entalla domina. Aquí, un incremento del paso causa una mejora en la resistencia.   |

**2.9 DIMENSIONADO DE UNIONES ATORNILLADAS**

| Influencia sobre la fuerza de resistencia por:                                | Efectividad de esta medida para un incremento en la fuerza de resistencia.                   | Razón  |
|---|--|--|
| 8) Incremento de la holgura de rosca.   | Mejora posible; por ejemplo: selección de tolerancias, e.                                    | Un incremento de la holgura de la rosca conlleva una mejor resiliencia de flexión de los hilos de rosca. Por lo tanto la distribución de carga en la tuerca se hace más homogénea.   |
| 9) Diferencia en el paso entre la rosca de la tuerca y la rosca del tornillo. | Posible mejora considerable.   | Un paso reducido en la rosca del tornillo, comparado con el de la rosca de la tuerca, modifica la distribución de la carga sobre los la unión de los hilos. Con un cambio de paso, controlado con cuidado, la carga del primer hilo de rosca en la tuerca puede ser reducida sustancialmente y, por lo tanto, la fuerza de resistencia puede ser incrementada.   |
| 10) Incremento del radio R en la raíz de la rosca.                            | No hay mejora significativa posible.   | Una mejora en la fuerza de resistencia se podría esperar reduciendo la concentración de tensiones, en la raíz de los hilos de rosca, utilizando un mayor radio, y por lo tanto, aumentando el diámetro interior. De todos modos, esta mejora es contrarrestada por el efecto simultáneo de una distribución menos homogénea de los esfuerzos en zona de unión entre roscas.  |
| 11) Reducción del módulo de elasticidad del material de la tuerca.            | Posible mejora destacada.  | Con una disminución en los módulos de elasticidad del material de la tuerca, se incrementa la resiliencia de flexión de los hilos de rosca de la tuerca. Por lo tanto, la distribución de cargas se hace más homogénea, apareciendo una reducción de la carga en el primer hilo de rosca de la tuerca, el más solicitado.  |
| 12) Tratamiento de Nitruración.   | Mejora posible sólo para precargas bajas.  | La mejora de la resistencia causada por un incremento en la fuerza/resistencia de la capa superficial y especialmente por la fuerza compresiva residual no tiene ningún efecto en el caso de precargas altas, porque allí, las capas de superficie relativamente frágiles empezarían a fracturarse.  |
| 13) Galvanizado o zincado en caliente.  | No hay mejora posible, si embargo podría haber un deterioro.                                 | Ningún deterioro debido a capas de galvanizadas de cadmio o zinc, relativamente blandas. La resistencia se puede reducir para capas de níquel o cromo, si se produce una tensión de tracción residual, en la capa, causada por condiciones de deposición. También, capas relativamente frágiles de aleaciones de hierro-zinc, que son producidas durante la galvanización en caliente, reducen la resistencia del orden del 15%. |
| 14) Técnica de fabricación: con o sin arranque de viruta.                     | Mejora obtenida por el método de fabricación sin cortar.                                     | Una superficie suave, lisa, como es típica en los roscas fabricadas con un proceso sin arranque de viruta, no puede conseguirse, generalmente, mediante técnicas de cortado del metal: torneado, fresado, (sin efecto de entalla). Además, es posible que, por ejemplo, se produzcan fuerzas de tracción residual, que son perjudiciales para la resistencia.  |
| 15) Incremento del contacto entre las roscas.                                 | Mejora de la resistencia, con incremento de la zona de contacto de las roscas.               | Con un incremento, creciente, de la superficie de contacto entre las roscas, la distribución de la fuerza total del tornillo sobre los hilos de rosca de la tuerca se ve modificada ventajosamente. Así sí la carga del primer hilo de rosca en la tuerca se ve reducida.  |
| 16) Forma de la tuerca.   | Posible mejora destacada.  | La distribución de la carga puede ser influenciada, de manera efectiva, por la forma de la tuerca. Por ejemplo, la llamada tuerca de tensión de forma cónica.  |
| 17) Reducción de la fuerza/resistencia del material de la tuerca.             | Posible mejora destacada.  | Con una disminución de la fuerza del material de la tuerca, aumenta la deformación plástica de los hilos de rosca de la tuerca. Por lo tanto la distribución de la carga en los hilos de rosca se vuelve más repartida y homogénea. Una altura superior a la "crítica" es una condición para la capacidad de carga de la unión.  |
| 18) Resiliencia del tornillo y partes de unión.                               | Posible mejoría destacada para $\delta_s$ altas y $\delta_p$ bajas.                          | Una reducción de las fuerzas del tornillo adicionales se consigue mediante una resiliencia del tornillo altamente elástica y una resiliencia de las partes a unir poco elástica.   |
| 19) Excentricidad de la componente de carga de trabajo, $F_A$ .               | Posible mejoría destacada mediante una reducción de ' $\alpha$ '.                            | Bajo las suposiciones echas en la sección 3.2.2.2.1, la $F_{SA}$ disminuye cuando la ' $\alpha$ ' disminuye de acuerdo con la ecuación (3.40). Además, con una ' $\alpha$ ' que disminuye, el apertura de uno de los lados de la unión se reduce. En el caso de apertura de un lado, se produce un aumento drástico de fuerza adicional en el tornillo, de acuerdo con las leyes de la palanca.                                  |
| 20) Nivel de introducción de carga del componente de carga de trabajo $F_A$ . | Posible mejora destacada cambiando el nivel de introducción de la carga, hacia la interfase. | Una cambio del nivel de introducción de carga hacia el interfase causa una disminución del factor $n$ . Por lo tanto, la fuerza de adicional del tornillo es reducida.   |