



Cálculo

## Cálculo

**Cálculo completo con los datos del cliente a petición**

Ver sección "Servicio de cálculo", página 156.

### Revoluciones medias y carga media

En caso de condiciones de trabajo variables (revoluciones y cargas variables) se deben emplear en el cálculo

de la duración de vida los valores medios  $F_m$  y  $n_m$ .

- En caso de revoluciones variables rige para las revoluciones medias  $n_m$

$$n_m = \frac{|n_1| \cdot q_{t1} + |n_2| \cdot q_{t2} + \dots + |n_n| \cdot q_{tn}}{100\%} \quad 1$$

$n_1, n_2, \dots, n_n$  = revoluciones en las fases 1 ... n (min<sup>-1</sup>)  
 $n_m$  = revoluciones medias (min<sup>-1</sup>)  
 $q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{tn}$  = fracción de tiempo de las fases 1 ... n (%)

- Para la carga efectiva equivalente rige:

| Precarga | Factor para la clases de precarga $X_{pr}$ |
|----------|--|
| 2% C     | 0,02                                       |
| 3% C     | 0,03                                       |
| 5% C     | 0,05                                       |
| 7% C     | 0,07                                       |
| 10% C    | 0,10                                       |

$$F > 2,8 X_{pr} \cdot C \quad F_{eff\ n} = |F_n|$$

$$F \leq 2,8 X_{pr} \cdot C \quad F_{eff\ n} = \left[ \frac{|F_n|}{2,8 \cdot X_{pr} \cdot C} + 1 \right]^{\frac{3}{2}} \cdot X_{pr} \cdot C$$

$C$  = capacidad de carga dinámica (N)  
 $F_{eff\ n}$  = carga axial efectiva equivalente durante la fase n (N)  
 $F_n$  = carga axial durante la fase n (N)  
 $X_{pr}$  = factor de las clases de precarga (-)

- En caso de carga variable y revoluciones constantes rige para la carga media  $F_m$

$$F_m = \sqrt[3]{|F_{eff\ 1}|^3 \cdot \frac{q_{t1}}{100\%} + |F_{eff\ 2}|^3 \cdot \frac{q_{t2}}{100\%} + \dots + |F_{eff\ n}|^3 \cdot \frac{q_{tn}}{100\%}} \quad 2$$

$F_{eff\ 1}, F_{eff\ 2}, \dots, F_{eff\ n}$  = carga axial efectiva equivalente durante las fases 1 ... n (N)  
 $F_m$  = carga axial dinámica equivalente (N)  
 $q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{tn}$  = fracción de tiempo para  $F_{eff\ 1}, \dots, F_{eff\ n}$  (%)



- En caso de carga variable y revoluciones variables rige para la carga media  $F_m$

$$F_m = \sqrt[3]{|F_{\text{eff } 1}|^3 \cdot \frac{|n_1|}{n_m} \cdot \frac{q_{t1}}{100\%} + |F_{\text{eff } 2}|^3 \cdot \frac{|n_2|}{n_m} \cdot \frac{q_{t2}}{100\%} + \dots + |F_{\text{eff } n}|^3 \cdot \frac{|n_n|}{n_m} \cdot \frac{q_{tn}}{100\%}} \quad 3$$

$F_{\text{eff } 1}, F_{\text{eff } 2}, \dots, F_{\text{eff } n}$  = carga axial efectiva equivalente durante las fases 1 ... n (N)  
 $F_m$  = carga axial dinámica equivalente (N)  
 $n_1, n_2, \dots, n_n$  = revoluciones en las fases 1 ... n ( $\text{min}^{-1}$ )  
 $n_m$  = revoluciones medias ( $\text{min}^{-1}$ )  
 $q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{tn}$  = fracción de tiempo para  $F_{\text{eff } 1}, \dots, F_{\text{eff } n}$  (%)

### Duración de vida nominal

Duración de vida en revoluciones L

$$L = \left[ \frac{C}{F_m} \right]^3 \cdot 10^6 \quad 4 \Rightarrow C = F_m \cdot \sqrt[3]{\frac{L}{10^6}} \quad 5 \Rightarrow F_m = \frac{C}{\sqrt[3]{\frac{L}{10^6}}} \quad 6$$

C = capacidad de carga dinámica (N)  
 $F_m$  = carga axial dinámica equivalente (N)  
L = Duración de vida nominal en revoluciones (-)

Duración de vida en horas  $L_h$

$$L_h = \frac{L}{n_m \cdot 60} \quad 7$$

$L_h$  = duración de vida (h)  
L = duración de vida en revoluciones (-)  
 $n_m$  = revoluciones medias ( $\text{min}^{-1}$ )

$$L_{h \text{ máquina}} = L_h \cdot \frac{DS_{\text{máquina}}}{DS_{\text{husillo}}} \quad 8$$

$DS_{\text{máquina}}$  = duración de servicio de la máquina (%)  
 $DS_{\text{husillo}}$  = duración de servicio del husillo de bolas (%)  
 $L_{h \text{ máquina}}$  = duración de vida nominal de la máquina (h)  
 $L_h$  = duración de vida nominal del husillo de bolas (h)

### Momento y potencia de accionamiento

Momento de accionamiento  $M_{ta}$  para transformación de movimiento rotativo en longitudinal:

$$M_{ta} = \frac{F_L \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad 9$$

$$M_{ta} \leq M_p$$

$F_L$  = fuerza de avance (N)  
 $M_p$  = momento de accionamiento máximo admisible (Nm)  
 $M_{ta}$  = momento de accionamiento (Nm)  
P = paso (mm)  
 $\eta$  = grado de rendimiento ( $\eta \approx 0,9$ ) (-)

Momento de accionamiento  $M_{te}$  para transformación de movimiento longitudinal en rotativo:

$$M_{te} = \frac{F_L \cdot P \cdot \eta'}{2000 \cdot \pi} \quad 10$$

$$M_{te} \leq M_p$$

$F_L$  = fuerza de avance (N)  
 $M_p$  = momento de accionamiento máximo admisible (Nm)  
 $M_{te}$  = momento de accionamiento (Nm)  
P = paso (mm)  
 $\eta'$  = grado de rendimiento ( $\eta' \approx 0,8$ ) (-)

En las unidades de tuercas precargadas tener en cuenta el par de giro en vacío.

Potencia de accionamiento  $P_a$

$$P_a = \frac{M_{ta} \cdot n}{9550} \quad 11$$

$M_{ta}$  = momento de accionamiento (Nm)  
n = revoluciones ( $\text{min}^{-1}$ )  
 $P_a$  = potencia de accionamiento (kW)



Cálculo

**Ejemplo de cálculo**  
**Duración de vida**

**Condiciones de trabajo**

La duración de vida de la máquina debe ser de 40.000 horas para un funcionamiento del husillo de bolas del 60%.

Husillo de bolas elegido: 63 x 10

$F_1 = 50.000 \text{ N}$  con  $n_1 = 10 \text{ min}^{-1}$  para  $q_1 = 6\%$  de la duración de servicio  
 $F_2 = 25.000 \text{ N}$  con  $n_2 = 30 \text{ min}^{-1}$  para  $q_2 = 22\%$  de la duración de servicio  
 $F_3 = 8.000 \text{ N}$  con  $n_3 = 100 \text{ min}^{-1}$  para  $q_3 = 47\%$  de la duración de servicio  
 $F_4 = 2.000 \text{ N}$  con  $n_4 = 1.000 \text{ min}^{-1}$  para  $q_4 = \frac{25\%}{100\%}$  de la duración de servicio

**Cálculos**

Revoluciones medias  $n_m$

$$n_m = \frac{6}{100} \cdot |10| + \frac{22}{100} \cdot |30| + \frac{47}{100} \cdot |100| + \frac{25}{100} \cdot |1000| \quad 1$$

$$n_m = 304 \text{ min}^{-1}$$

Carga media  $F_m$  para carga variable y revoluciones variables

$$F_m = \sqrt[3]{\left|50000\right|^3 \cdot \frac{|10|}{304} \cdot \frac{6}{100} + \left|25000\right|^3 \cdot \frac{|30|}{304} \cdot \frac{22}{100} + \left|8000\right|^3 \cdot \frac{|100|}{304} \cdot \frac{47}{100} + \left|2000\right|^3 \cdot \frac{|1000|}{304} \cdot \frac{25}{100}} \quad 3$$

$$F_m = 8757 \text{ N}$$

Duración de vida exigida  $L$  (revoluciones)

La duración de vida  $L$  puede ser calculada con las fórmulas 7 y 8 :

$$L = L_h \cdot n_m \cdot 60$$

$$L_h = L_{h \text{ máquina}} \cdot \frac{DS_{\text{husillo}}}{DS_{\text{máquina}}}$$

$$L_h = 40000 \cdot \frac{60}{100} = 24000 \text{ horas}$$

$$L = 24000 \cdot 304 \cdot 60$$

$$L = 437 \ 760 \ 000 \text{ revoluciones}$$

Capacidad de carga dinámica  $C$

$$C = 8757 \cdot \sqrt[3]{\frac{437 \ 760 \ 000}{10^6}} \quad 5 \quad C \approx 66492 \text{ N}$$

**Resultado y selección**

De las tablas adjuntas elegimos el siguiente husillo:

por ej. un husillo de bolas de precisión, tamaño 63 x 10R x 6 - 6, con tuerca simple embridada y precargada FEM-E-S, cap. de carga dinámica  $C = 88.800 \text{ N}$ , referencia R1512 640 13.

**Atención:**

¡Observar la capacidad de carga dinámica de los rodamientos de extremo del husillo elegido!

**Verificación**

Duración de vida en revoluciones del husillo de bolas seleccionado

$$L = \left( \frac{88 \ 800}{8757} \right)^3 \cdot 10^6 \quad 4 \quad L \approx 1042 \cdot 10^6 \text{ revoluciones}$$

Duración de vida en horas  $L_h$

$$L_h = \frac{1042 \cdot 10^6}{304 \cdot 60} \quad 7$$

$$L_h \approx 57 \ 167 \text{ horas}$$

La duración de vida del husillo de bolas elegido es superior a la duración exigida de 24.000 horas (ya considerada la duración de servicio). Se podría entonces seleccionar un husillo de bolas más pequeño.



**RODAVIGO, S.A.**  
RODAMIENTOS VIGO, S.A.

[www.rodavigo.net](http://www.rodavigo.net)

**+34 986 288118**  
Servicio de Att. al Cliente

R310ES 3301 (2009.08) | Husillos de bolas de precisión

Bosch Rexroth AG 149

Cálculo

**Revoluciones críticas  $n_{cr}$**

Las revoluciones críticas  $n_{cr}$  dependen del diámetro del husillo, del tipo de montaje y de su longitud  $l_{cr}$ . No hay

que considerar la tuerca con juego axial como elemento de guiado.

Las revoluciones de trabajo no deben superar el 80% de las revoluciones

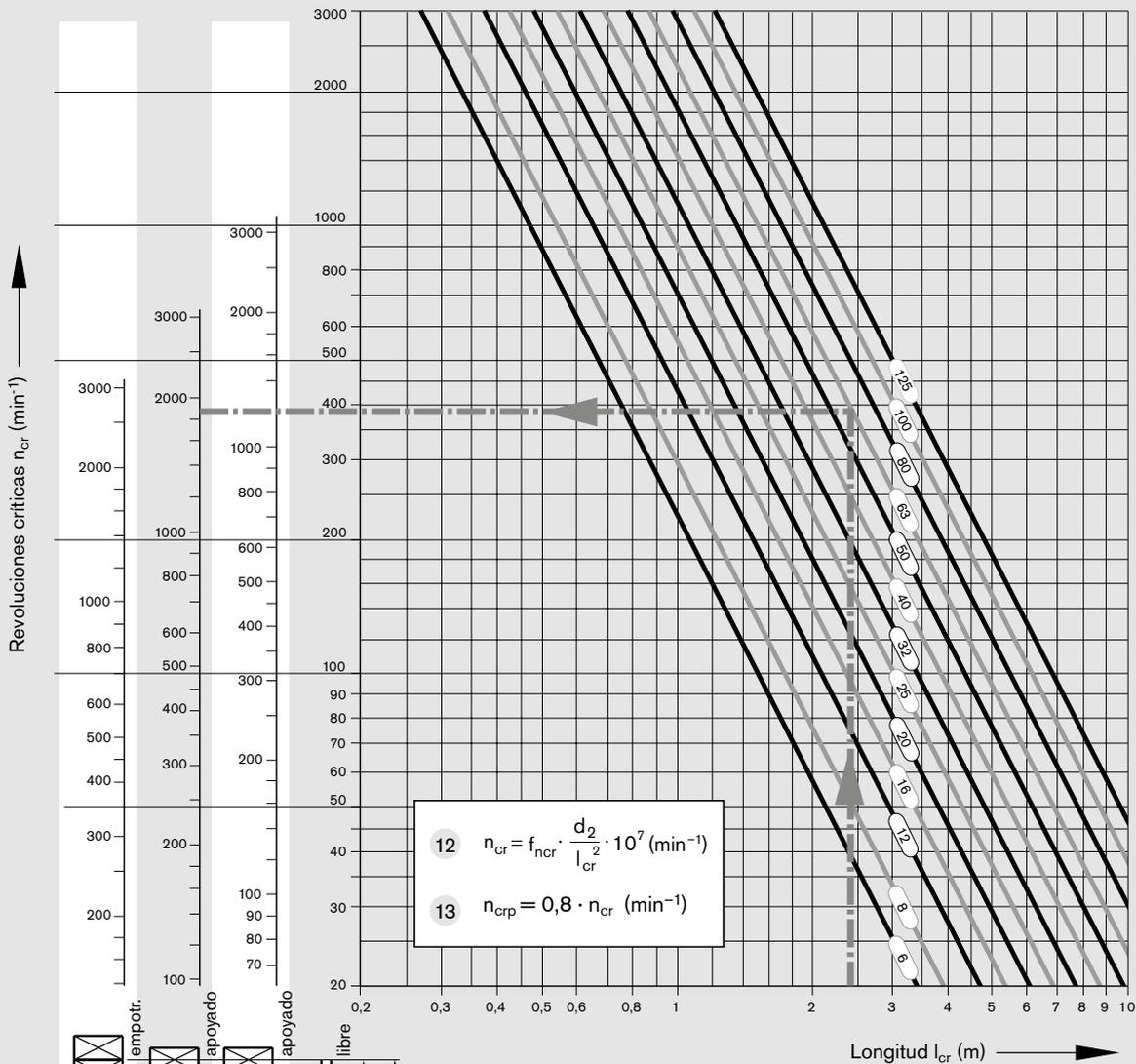
críticas. Considerar el coeficiente de las revoluciones o la velocidad lineal máx. admisible, ver "Indicaciones técnicas".

**Ejemplo**

Diámetro del husillo = 63 mm  
Longitud  $l_{cr}$  = 2,4 m  
Tipo de montaje II (empotrado - apoyado)

Según el diagrama obtenemos unas revoluciones críticas de 1850  $\text{min}^{-1}$ .  
Las revoluciones admisibles de servicio son de  $1850 \text{ min}^{-1} \times 0,8 = 1480 \text{ min}^{-1}$ .

Las revoluciones máximas de servicio del ejemplo de cálculo,  $n_4 = 1000 \text{ min}^{-1}$  están por debajo de las revoluciones de servicio admisibles.



| Tipo de montaje | I    | II   | III  | IV  |
|-----------------|------|------|------|-----|
| Coef. $f_{ncr}$ | 27,4 | 18,9 | 12,1 | 4,3 |

$n_{cr}$  = revoluciones críticas (min<sup>-1</sup>)  
 $n_{crp}$  = revoluciones de servicio admisibles (min<sup>-1</sup>)  
 $f_{ncr}$  = coeficiente, en función del tipo de apoyo  
 $d_2$  = diámetro del núcleo, ver tablas de medidas (mm)  
 $l_{cr}$  = longitud crítica para sistemas de tuercas precargadas (mm)  
 $l_s$  = distancia rodamiento - rodamiento (mm)  
 Para sistemas de tuercas no precargadas vale:  $l_{cr} = l_s$   
 Para extremos de husillos con forma 31 se puede utilizar el tipo de montaje "empotrado".

**Carga axial admisible en compresión del husillo  $F_c$  (pandeo)**

Carga axial admisible en compresión del husillo  $F_c$  depende de su diámetro, del tipo de montaje y de la longitud  $l_c$ .

Para la carga axial se debe tener en cuenta un factor de seguridad  $s \geq 2$ .

**Ejemplo**

Diámetro del husillo = 63 mm  
 Paso = 10 mm  
 Longitud  $l_c$  = 2,4 m  
 Tipo de montaje II (empotrado - apoyado)  
 Según el diagrama, la carga axial teórica admisible es de 360 kN.  
 Con el factor de seguridad 2 se consigue una carga axial admisible del husillo en el trabajo de 360 kN : 2 = 180 kN.  
 Por ello soporta un esfuerzo de trabajo superior a la carga máxima de funcionamiento  $F_1 = 50$  kN según el ejemplo de cálculo.

14  $F_c = f_{F_c} \cdot \frac{d_2^4}{l_c^2} \cdot 10^4 \text{ (N)}$

15  $F_{cp} = \frac{F_c}{2} \text{ (N)}$

$F_c$  = carga axial teórica admisible del husillo  
 $F_{cp}$  = carga axial admisible del husillo en el trabajo  
 $f_{F_c}$  = coeficiente, en función del tipo de apoyo  
 $d_2$  = diámetro del núcleo (mm), ver tablas de medidas  
 $l_c$  = longitud de rosca libre (mm)

| Coef. $f_{F_c}$ | Tipo de montaje |
|-----------------|-----------------|
| 2,6             | IV              |
| 10,2            | III             |
| 20,4            | II              |
| 40,6            | I               |

