

## Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

Precarga · Rigidez

### Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

En la práctica, se utiliza un gran número de diferentes rodamientos para husillos. La selección del tipo de rodamiento para husillos y de su disposición, generalmente se determina en función de la aplicación: tornos, fresadoras, rectificadoras o bien para electromandrinados de alta frecuencia.

Sin embargo, tanto las condiciones de funcionamiento como consideraciones económicas juegan un papel importante en la selección del tipo y tamaño del rodamiento. Finalmente, también juegan un papel decisivo las reflexiones en cuanto a la economía de las posibilidades técnicas de las diversas disposiciones de rodamientos.

La rodadura, en servicio, no debe tener juego, la mayoría de las veces debe ser precargada y lista para alcanzar elevados requisitos para la precisión (P4 o mejor). Por otro lado, también se exigen elevadas velocidades (para lubricación con grasa hasta  $n \cdot d_m = 2 \cdot 10^6$  mm/min. y para lubricación aire/aceite, hasta  $3,1 \cdot 10^6$  mm/min.), para temperaturas de funcionamiento tan bajas como sea posible.

Esto supone la utilización de rodamientos de superprecisión y de la correspondiente precisión de las partes adyacentes. Las siguientes indicaciones deben ser un medio de ayuda en la búsqueda y selección de la óptima aplicación de los rodamientos y de las disposiciones de los mismos, A continuación, se tratan los siguientes aspectos:

- Precarga
- Rigidez

- Ángulo de contacto
- Tamaño de las bolas y material
- Distancia entre los rodamientos
- Obturación
- Pasos para el dimensionado de los rodamientos
- Comparación de las disposiciones de rodamientos
- Ejemplos de rodamientos.

#### Precarga

Los rodamientos dispuestos de forma rígida son muy sensibles a las variaciones de temperatura entre el eje y el alojamiento, especialmente cuando se dispone de una separación pequeña entre los rodamientos. La precarga en los grupos de rodamientos puede incrementar notablemente el juego radial, e incluso anularlo, en el caso de que el ajuste deslizante no funcione. Especialmente con los rodamientos para husillos con 15° de ángulo de contacto, se puede ajustar la precarga radial. Esto es también válido para los rodamientos de rodillos cilíndricos o para parejas de rodamientos libres con ajuste deslizante. Por el contrario, son más insensibles las rodaduras rígidas con grandes distancias entre los rodamientos, las rodaduras ajustadas elásticamente y los rodamientos con un ángulo de contacto de 25°. Los rodamientos con elementos rodantes de cerámica tienen, en general, menores temperaturas de funcionamiento. En un sistema rígido, aquí la precarga se incrementa con  $\Delta T$  menos que con bolas de acero. En el caso de rodamientos rígidamente precargados, deben utilizarse factores de reducción de la velocidad (ver tabla 2).

Para rodamientos ajustados elásticamente, mediante muelles o hidráulicamente, las velocidades se obtienen de acuerdo con las tablas de los rodamientos debido a la menor sensibilidad térmica.

Para la fuerza de precarga de los muelles se debe elegir un valor que corresponda, al menos, a la precarga media M del rodamiento (ver las tablas de rodamientos).

#### Rigidez

La rigidez del sistema de rodadura está influenciada por el diámetro del eje, el número de rodamientos, el tamaño de los mismos, la precarga y el ángulo de contacto. Los rodamientos con un ángulo de contacto de 15° tienen sólo el 45% de la rigidez axial que corresponde a los rodamientos con un ángulo de contacto de 25°, pero también son sólo un 10% más rígidos radialmente que éstos. Si se analiza el sistema completo, la rodadura del husillo/el voladizo y la rigidez total de una rodadura con rodamientos con un ángulo de contacto de 25°, es mejor debido a su base de apoyo más ancha, que una rodadura con rodamientos con un ángulo de contacto de 15°.

Frente a los datos indicados en el catálogo, la rigidez de un rodamiento montado con fuerte precarga aumenta debido a la influencia de los ajustes. Generalmente, en funcionamiento a elevadas velocidades, aumenta aún más a causa de la expansión del anillo debida a la influencia de la fuerza centrífuga y a causa de la dilatación térmica del eje y del anillo interior.

## Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

Selección del ángulo de contacto adecuado para el rodamiento · Selección del rodamiento con relación al tamaño de las bolas y al material

### Selección del ángulo de contacto adecuado para el rodamiento

Los dos ángulos de contacto suministrables tienen diferentes ventajas y áreas de aplicación (ver tabla 1).

### Selección del rodamiento con relación al tamaño de las bolas y al material

Todos los rodamientos para husillos que tienen una “B” en la descripción del tipo, están rellenos con grandes bolas y el resto de rodamientos disponen de bolas pequeñas.

Los rodamientos con grandes bolas disponen de la máxima capacidad de carga y son, por ello, más adecuados para soportar elevadas cargas que los rodamientos con bolas pequeñas. Por el contrario, estos últimos son preferidos cuando se requieren altas velocidades. Los rodamientos con elementos rodantes de cerámica tienen ventajas adicionales en cuanto a la velocidad, frente a los rodamientos anteriores (ver capítulo Tablas de rodamientos, rodamientos para husillos).

Los rodamientos X-life ultra se fabrican siempre con anillos de Cronidur 30 y bolas de cerámica. Los rodamientos con bolas pequeñas de esta ejecución empiezan con XC.. en la referencia, y los rodamientos con grandes bolas, empiezan con XCB..

La siguiente comparación de especificaciones y datos de rendimiento de los rodamientos para husillos es útil para la correcta selección de los mismos.

| Ángulo de contacto  | 15°   | 25°   |
|---------------------|---|---|
| <b>Ventajas</b>     | Rigidez radial<br>Capacidad de carga radial<br>Velocidad algo más alta con pequeño $\Delta T$ | Rigidez axial<br>Rigidez radial del sistema<br>Capacidad de carga axial<br>Capacidad de carga radial y axial combinadas<br>Elevado $\Delta T$ entre IR y AR |
| <b>Aplicaciones</b> | Rectificadoras<br>Lapeadoras<br>Lado de la correa en las rodaduras                            | Tornos<br>Fresadoras<br>Taladradoras<br>Centros de mecanizado<br>Electromandrilos   |

1: Criterios de selección para el ángulo de contacto del rodamiento

| Tamaño de la bola/<br>Material de la bola<br>Tipo de rodamiento | Carga    | Velocidad   | Duración en servicio |
|---|----------|-------------|----------------------|
| <b>Tamaño/Acero<br/>B...</b>                                    | Elevada  | Media       | Buena                |
| <b>Pequeña/Acero<br/>HS..</b>                                   | Media    | Elevada     | Mejor                |
| <b>Tamaño/Cerámica<br/>HCB..</b>                                | Media    | Elevada     | Mucho mejor          |
| <b>Pequeña/Cerámica<br/>HC..</b>                                | Reducida | Muy elevada | La mejor             |
| <b>Rodamientos X-life ultra<br/>XC..., XCB..</b>                | Premium  | Premium     | Premium              |

2: Comparación de rendimientos de diferentes ejecuciones de rodamientos

## Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

Selección de la distancia óptima entre rodamientos · Obturación

### Selección de la distancia óptima entre rodamientos

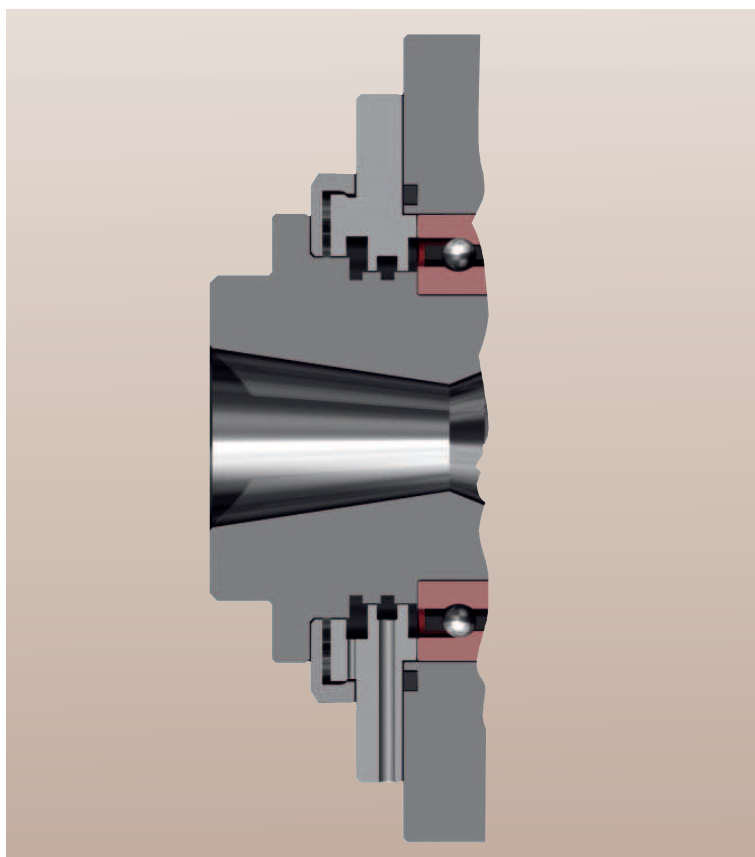
En disposiciones de rodamientos precargados rígidamente, y si a nivel constructivo es posible, se recomienda elegir una distancia térmica neutral entre los rodamientos, con la que las consecuencias de las dilataciones térmicas radial y axial del eje se compensen con respecto a la influencia de la precarga.

En rodamientos para husillos con un ángulo de contacto de  $25^\circ$ , esta distancia térmica óptima  $L$  corresponde al triple del diámetro  $d$  del eje y, en rodamientos con un ángulo de contacto de  $15^\circ$  esta distancia es, aprox.  $5 \cdot d$ , teniendo en cuenta que la dilatación térmica axial, a veces se hace efectiva de forma muy lenta, debido a la gran distancia entre los rodamientos.

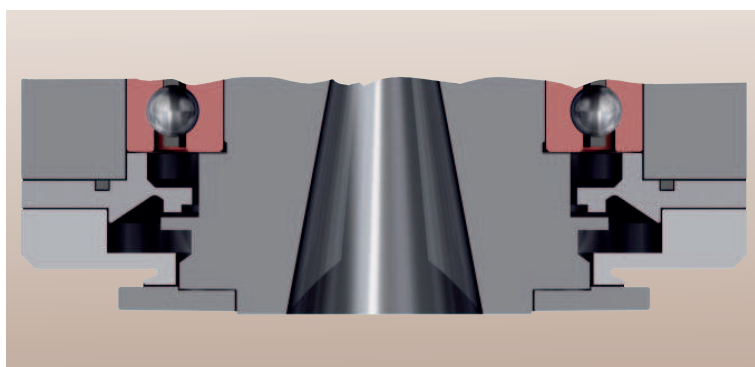
### Obturación

Los rodamientos para husillos principales deben ser obturados con eficacia, especialmente en el lado de la herramienta. La obturación de laberinto debe estar libre de contacto debido a las altas velocidades, tener una valona de protección, intersticios radiales estrechos (según  $h8/C9$ ), intersticios axiales amplios (ancho del intersticio  $\geq 3$  mm) y orificios de desagüe y, en rotación y en parada, debe garantizar una obturación absoluta contra los refrigerantes de corte, las virutas o el polvo.

En la lubricación con grasa, los rodamientos obturados apoyan el efecto del laberinto y evitan las corrientes de aire a través de los rodamientos.



3: Ejemplo de una obturación de laberinto en un husillo horizontal



4: Ejemplo de una obturación de laberinto en un husillo vertical

# Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

Pasos para el dimensionado de los rodamientos

## Pasos para el dimensionado de los rodamientos

Para el diseño de la rodadura de un husillo, deben efectuarse los siguientes pasos:

1. Establecer las condiciones de funcionamiento (velocidad de giro, fuerzas, duraciones, distancias y diámetros, temperaturas, influencias ambientales)
2. Seleccionar la disposición de rodamientos en función de la aplicación y de los requisitos (ver tabla 6)
3. Determinar la lubricación (ver el capítulo Lubricación, páginas 176 y siguientes)
4. Seleccionar el tipo y el tamaño de los rodamientos en base a su aptitud para la velocidad (ver el capítulo Velocidad, página 189), el espacio constructivo y la lubricación
5. Verificar la duración en servicio de la grasa (ver Lubricación, tabla 5, página 180)
6. Calcular la distribución de la carga en el rodamiento
7. Comprobar los rodamientos en cuanto a su resistencia a la fatiga (ver el capítulo Cálculo de la duración de vida útil).

Si está disponible un programa de cálculo, deben efectuarse los siguientes pasos:

8. Calcular la cinemática de los rodamientos (relación spin/roll, recorridos de las bolas) y las presiones en el contacto de rodadura ( $P_0$ ) y compararlas con los límites del diseño (ver tabla 5)
9. Evaluar la duración de vida considerando la lubricación y la limpieza
10. Calcular la elástica, las flexiones y la rigidez
11. Recalcular las frecuencias naturales y/o las velocidades críticas a la flexión
12. Optimizar la disposición de los rodamientos.

Schaeffler KG ofrece, bajo consulta, el cálculo antes mencionado, también como servicio. Es de gran ayuda facilitar los datos completos de la rodadura según el formulario para el cálculo de los rodamientos, al final de este capítulo (página 203). Este formulario también está disponible, para ser descargado, en [www.fag.de](http://www.fag.de).

|  |  |
|--|--|
| <b>Relación spin/roll</b>              | máximo 0,5   |
| <b>Recorridos máximos de las bolas</b> | en función de la construcción interna del rodamiento   |
| <b>Presiones de Hertz</b>              | Límites de la resistencia a la fatiga<br>Contacto puntual: para 100Cr6: 2 000 MPa<br>para Cronidur 30: 2 500 MPa<br>Contacto lineal: para 100Cr6: 1 500 MPa<br>para Cronidur 30: 1 900 MPa |

5: Límites del diseño

## Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

Comparación de las disposiciones de rodamientos

### Comparación de las disposiciones de rodamientos

| Disposición de los rodamientos |        | Aplicación típica           | Aptitud para la velocidad<br>% | Rígidez del sistema |          | Capacidades de carga |          | Comportamiento de la temperatura |                          |
|--------------------------------|--------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------|----------|----------------------|----------|----------------------------------|--------------------------|
| delante                        | detrás |                             |                                | % axial             | % radial | % axial              | % radial | Evaluación                       | Sensibilidad en servicio |
| ==≧                            | ==     | Universal                   | 50                             | 100                 | 100      | 60                   | 100      | ★☆☆☆☆☆                           | ★☆☆☆☆☆                   |
| <<>>                           | ==     | Rectificar                  | 72                             | 65                  | 100      | 75                   | 50       | ★★☆☆☆☆                           | ★★☆☆☆☆                   |
| <<>                            | ==     | Tornear                     | 65                             | 44                  | 86       | 75                   | 47       | ★☆☆☆☆☆                           | ★★☆☆☆☆                   |
| <<>                            | <>     | Tornear, rectificar         | 65                             | 44                  | 84       | 75                   | 44       | ★★☆☆☆☆                           | ★☆☆☆☆☆                   |
| <>                             | =      | Madera, motor               | 75                             | 32                  | 79       | 35                   | 42       | ★★★☆☆☆                           | ★★★☆☆☆                   |
| <>                             | <>     | Taladrar, motor             | 75                             | 32                  | 77       | 35                   | 40       | ★★★☆☆☆                           | ★★★☆☆☆                   |
| <>                             | ⊖      | Motor                       | 75                             | 32                  | 59       | 35                   | 38       | ★★★☆☆☆                           | ★★★☆☆☆                   |
| <                              | >      | Fresar, taladrar            | 85                             | 30                  | 62       | 35                   | 22       | ★★★★☆                            | ★★★★★                    |
| <<                             | >>     | Fresar, taladrar, universal | 80                             | 61                  | 95       | 75                   | 44       | ★★★★☆                            | ★★★★☆                    |
| <<<                            | >>     | Fresar, taladrar, universal | 75                             | 76                  | 98       | 100                  | 46       | ★★★☆☆☆                           | ★★★★☆                    |
| <                              | ≈>     | Motor                       | 100                            | 23                  | 60       | 30                   | 27       | ★★★★★                            | ★★★★★                    |
| <<                             | ≈>>    | Motor                       | 100                            | 46                  | 92       | 60                   | 52       | ★★★★★                            | ★★★★☆                    |
| <≈>                            | ≈>     | Motor                       | 100                            | 25                  | 89       | 25                   | 60       | ★★★★★                            | ★★★★★                    |
| <≈>                            | ⊖      | Motor                       | 100                            | 23                  | 58       | 30                   | 42       | ★★★★★                            | ★★★★☆                    |
| <≈>                            | =      | Motor                       | 80                             | 23                  | 82       | 30                   | 46       | ★★★★★                            | ★★★★☆                    |
| <<≈>                           | ≈>     | Motor                       | 100                            | 46                  | 93       | 50                   | 65       | ★★★★★                            | ★★★★☆                    |
| <<≈>>                          | ≈>>    | Motor                       | 100                            | 48                  | 98       | 48                   | 65       | ★★★★☆                            | ★★★★☆                    |

Significado de los símbolos: 100 = óptimo,

★☆☆☆☆☆ muy desfavorable, ★★★★★★ muy bien

< Rodamiento para husillos, = de una y == de dos hileras (rodamientos de rodillos cilíndricos), ≧ 2344.., ⊖ Rodamientos FD, ≈ Muelle

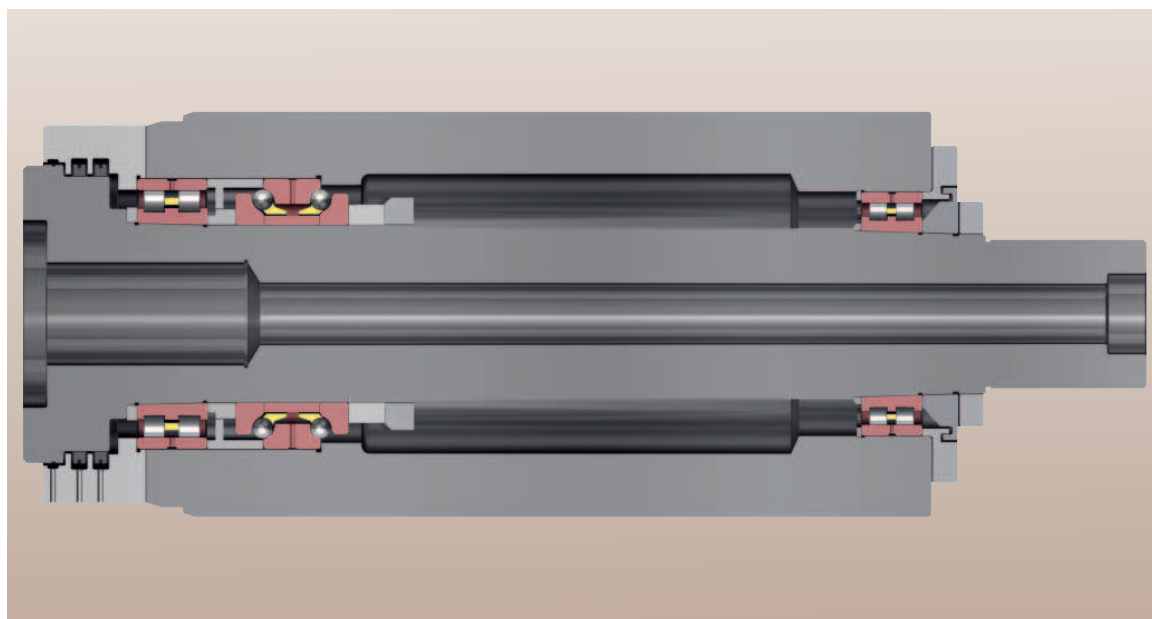
Los datos son valores orientativos, referidos a un husillo con d = 70 mm de diámetro de eje, una distancia entre rodamientos L = 3d y a un voladizo A = L/2

6: Disposiciones de rodamientos: Aplicaciones y comparación de datos de rendimientos

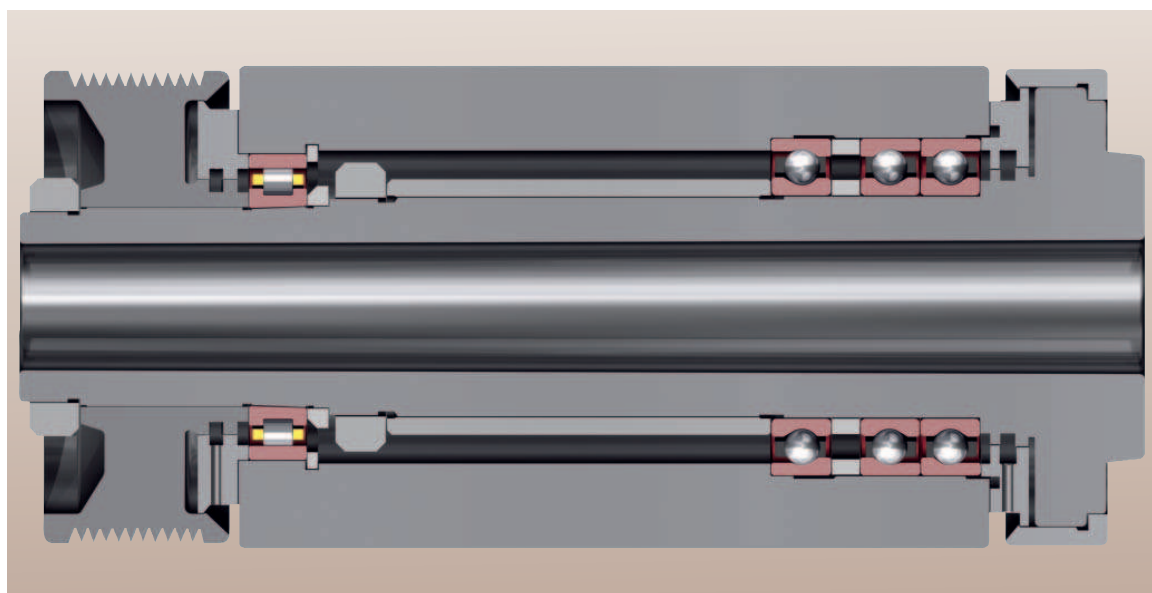
## Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

Ejemplos de disposiciones de rodamientos.

Ejemplos de disposiciones de rodamientos.



7: Husillo de fresadora, centro de mecanizado, elevada capacidad de carga

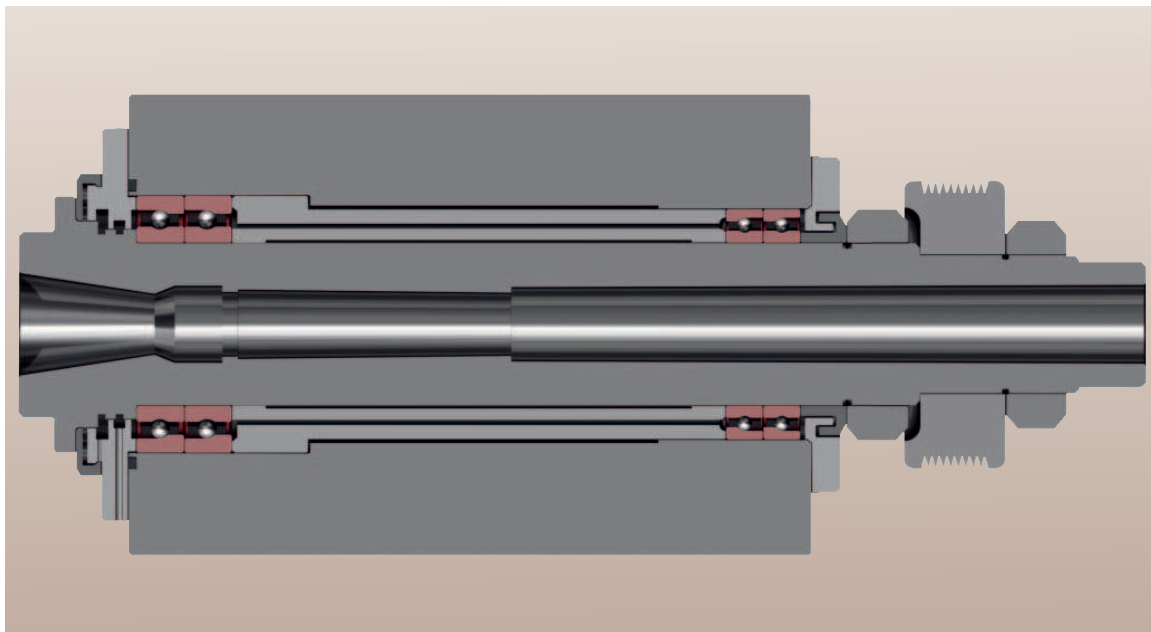


8: Husillo de torno

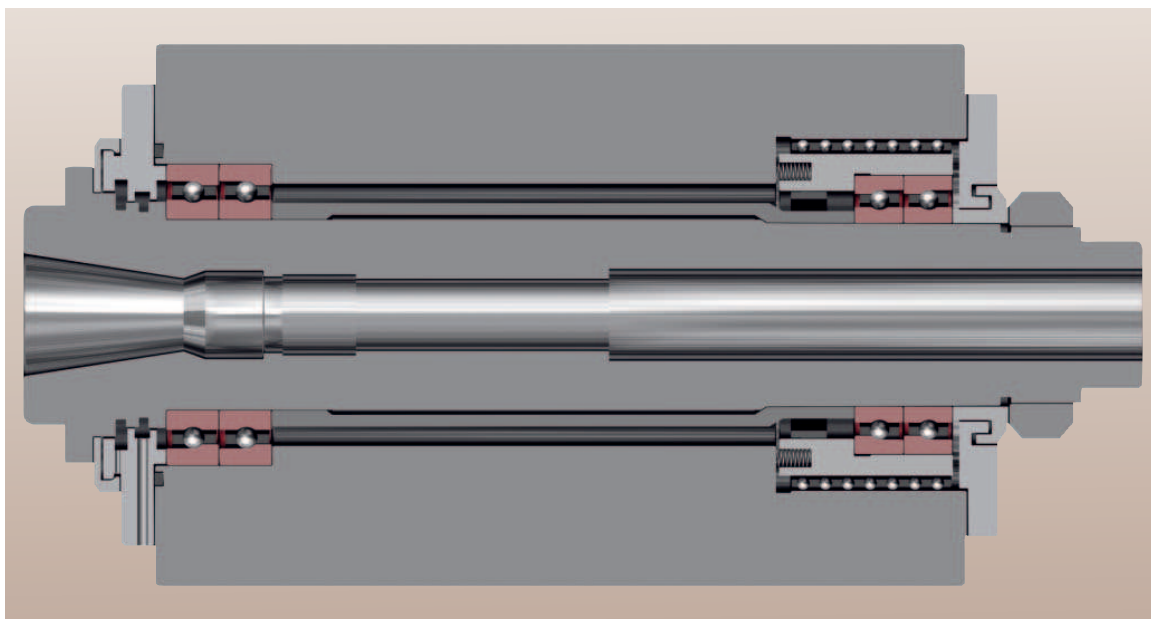
Dimensionado

## Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

Ejemplos de disposiciones de rodamientos.



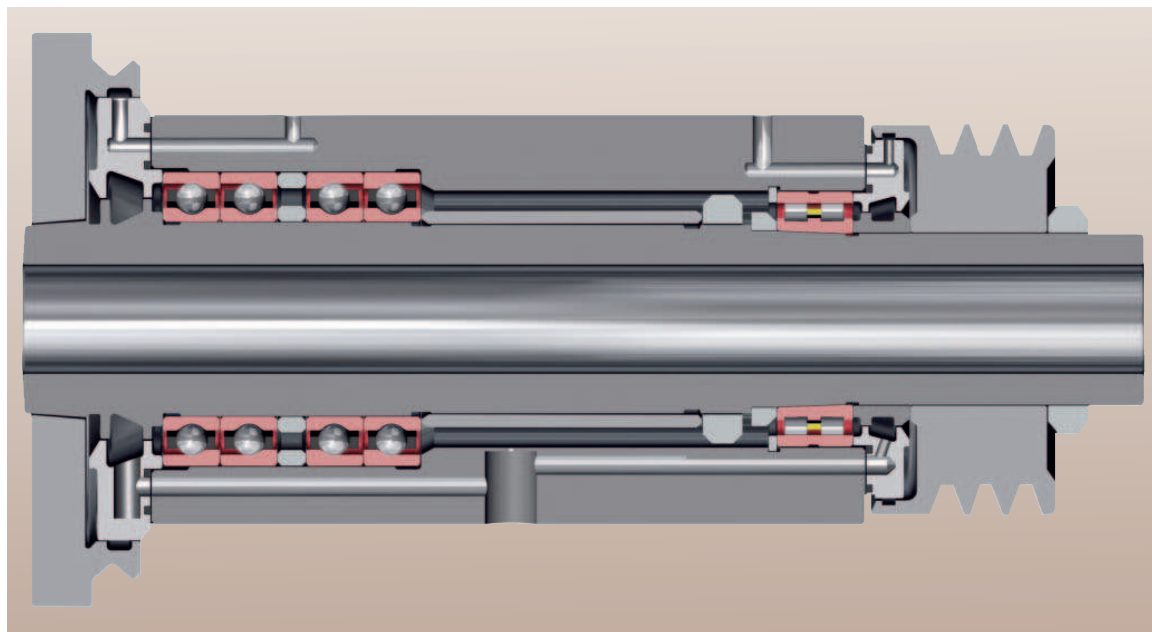
9: Centro de mecanizado, husillo de fresadora para elevadas velocidades



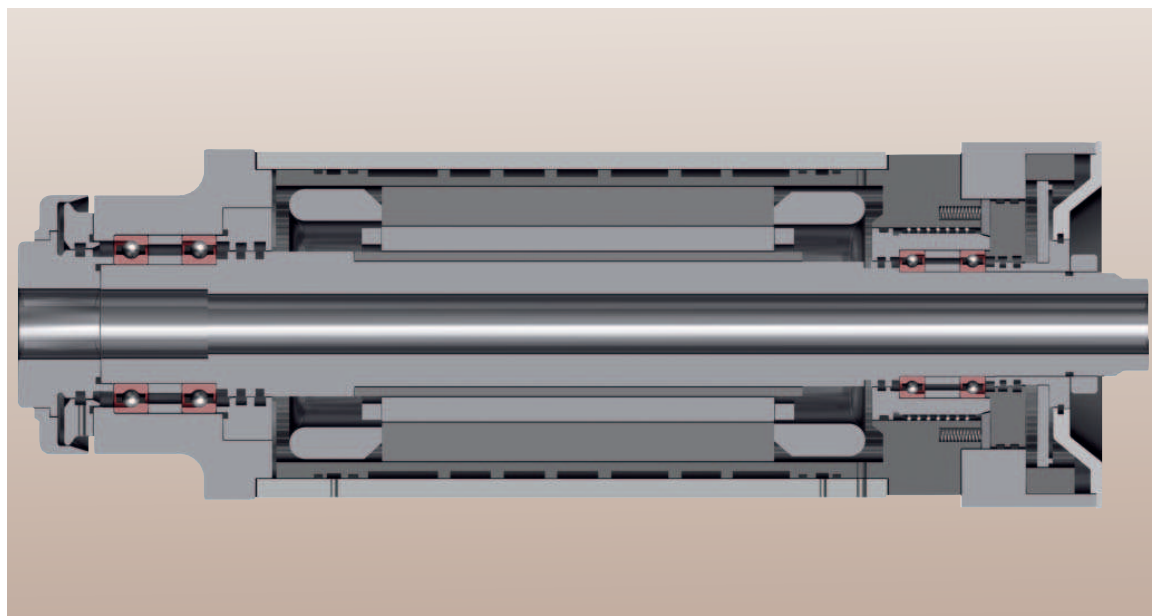
10: Centro de mecanizado para elevadas velocidades

## Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

Ejemplos de disposiciones de rodamientos.



11: Husillo de rectificadora



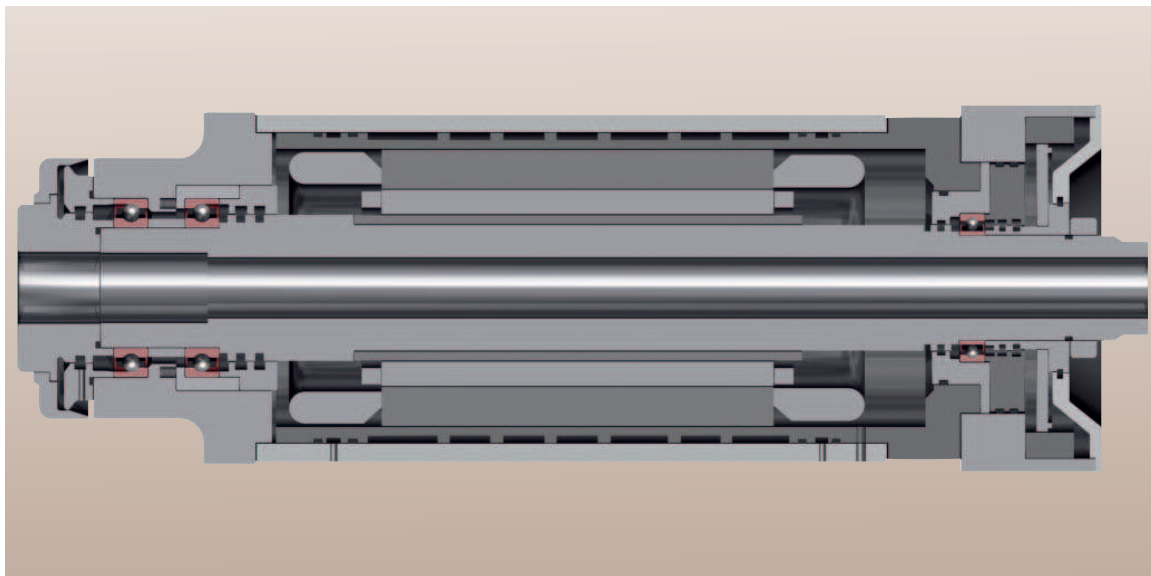
12: Electromandrino de alta frecuencia

Dimensionado

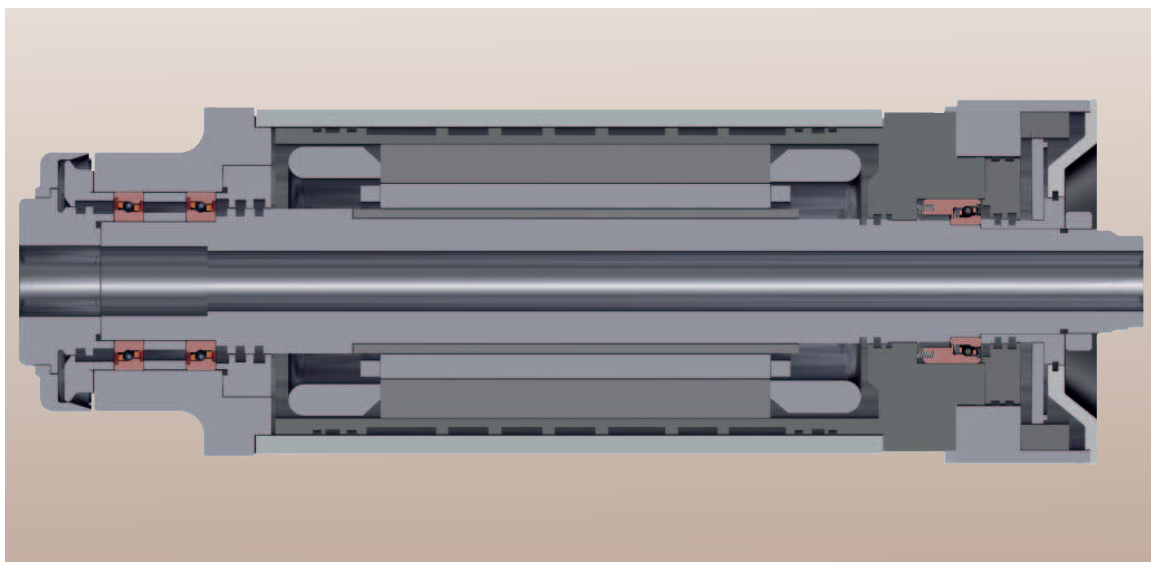


## Diseño de la disposición de rodamientos y ejemplos de aplicación

Ejemplos de disposiciones de rodamientos.



13: Electromandrino de alta frecuencia con rodamientos de desplazamiento flotante (FD..)



14: Electromandrino de alta frecuencia con unidades de rodamientos libres precargados por muelles (SPP..)

15: Formulario: Solicitud de datos para el cálculo de los rodamientos