

Diseño de disposiciones de rodamientos

Influencias

Diseño de disposiciones de rodamientos

Las exigencias más importantes del diseño de rodamientos son: larga duración de servicio, alta fiabilidad y rentabilidad. Para alcanzar estas metas, los ingenieros de diseño recopilan en especificaciones las condiciones que influyen en el rodamiento y las exigencias que deben alcanzarse. No sólo deben seleccionarse el tipo, diseño y disposición de rodamientos adecuada; también las partes adyacentes, es decir el eje, alojamientos y piezas de fijación, obturación y sobre todo la lubricación, deben estar adaptados a los parámetros indicados en las especificaciones.

Los pasos para diseñar una disposición de rodamientos generalmente siguen el mismo orden. Primero debe efectuarse un exacto reconocimiento de todos los factores de influencia. Luego, se elige el tipo, la disposición y el tamaño de los rodamientos y se revisan las alternativas. Finalmente se determina la disposición completa de rodamientos en el plano de diseño donde se definen los datos de los rodamientos (dimensiones principales, tolerancias, juego del rodamiento, jaula, denominaciones abreviadas) las partes adyacentes (tolerancias de ajuste, fijaciones, obturaciones) y la lubricación. También se considera el montaje y el mantenimiento. Para elegir la disposición de rodamientos más económica, debe compararse el grado en que cada solución alternativa soporta los factores de influencia así como los costes totales.

Influencias

Deben conocerse los siguientes datos:

- Máquina / dispositivo y lugar de montaje de los rodamientos (croquis)
- Condiciones de servicio (carga, velocidad, espacio de montaje, temperatura, condiciones ambientales, disposición del eje, rigidez de las partes adyacentes)
- Exigencias (duración, precisión, ruido, rozamiento y temperatura de servicio, lubricación y mantenimiento, montaje y desmontaje)
- Datos comerciales (plazos, cantidad de piezas)

Antes de diseñar la disposición de los rodamientos, deben evaluarse los siguientes factores de influencia:

- Carga y velocidad
 - ¿Qué cargas radiales y axiales existen? ¿Cambia la dirección? ¿Cuál es la velocidad de giro?
 - ¿Cambia el sentido de giro? ¿Pueden producirse cargas de choque? ¿Debe considerarse la relación entre carga y velocidad y sus porcentajes de tiempo en el dimensionado?
- Espacio de montaje
 - ¿Hay una zona de montaje especificada? ¿Es posible cambiar las dimensiones sin perjudicar el funcionamiento de la máquina?
- Temperatura
 - ¿Qué temperatura ambiente hay? ¿Hay que contar con un calentamiento o refrigeración externo (gradiente térmico entre los aros de los rodamientos)? ¿Qué variaciones longitudinales por dilatación térmica cabe esperar (rodamiento libre)?
- Condiciones ambientales
 - ¿Existe elevada humedad ambiental?
 - ¿Conviene proteger los rodamientos contra suciedad? ¿Existen medios agresivos? ¿Se transmiten vibraciones sobre los rodamientos?
- Disposición del eje
 - ¿En cuál de las tres disposiciones – horizontal, vertical o inclinada – se encuentran los ejes?
- Rigidez de las partes adyacentes
 - ¿Deben considerarse deformaciones del soporte? ¿Cabe esperar desalineaciones de los rodamientos originadas por flexión del eje?
- Vida
 - ¿Qué vida se exige? ¿Es posible comparar la presente disposición de rodamientos con otra ya probada (vida nominal L_h , factor de esfuerzos dinámicos f_D)? ¿Debe efectuarse un cálculo de vida ampliado (que siempre será preferible por sus resultados más parecidos a las condiciones de servicio reales) ?
- Precisión
 - ¿Hay grandes exigencias en precisión de giro, p.e. en apoyos para máquinas-herramienta?
- Ruido
 - ¿Se exige un funcionamiento muy silencioso, p.e. en motores eléctricos de aparatos electrodomésticos?
- Rozamiento y temperatura de servicio
 - ¿Se exige una pérdida de energía reducida?
 - ¿Conviene limitar el aumento de temperatura para no perjudicar la precisión?



Diseño de disposiciones de rodamientos

Influencias · Programas para PC

- Lubricación y mantenimiento
¿Existen especificaciones sobre el tipo de lubricación del rodamiento, p.e. lubricación por baño o circulación de aceite? ¿Es necesario evitar la fuga de lubricante para que la calidad del producto no se perjudique, p.e. en la industria alimenticia? ¿Se ha previsto un sistema central de lubricación? ¿Los rodamientos deben ser sin mantenimiento?
- Montaje y desmontaje
¿Se necesitan dispositivos de montaje especiales? ¿El aro interior se monta sobre un eje cónico o cilíndrico? ¿Los rodamientos deben montarse directamente sobre el eje o fijarlos con manguitos de montaje o desmontaje? ¿Hay frecuentes desmontajes, p.e. en los apoyos de laminadores?
- Datos comerciales
¿Qué demanda existe? ¿Cuándo se necesitan los rodamientos? ¿Es posible utilizar las ejecuciones básicas (ver lista de precios FAG) suministrables a corto plazo? ¿Se necesitan variantes del diseño básico del rodamiento o nuevos diseños para condiciones de servicio especiales? La oficina de FAG le indicará precio y plazo de estos rodamientos.

Estas influencias son tenidas en cuenta para cada uno de los siguientes pasos de diseño de una disposición de rodamientos

- Elección del tipo de rodamiento
- Elección de la disposición del rodamiento
- Determinación del tamaño del rodamiento (vida, factor de seguridad estática)
- Definición de datos del rodamiento
- Diseño de las partes adyacentes
- Lubricación y mantenimiento
- Montaje y desmontaje

En la mayoría de los casos los costes ocasionados por el diseño del rodamiento son relativamente bajos porque se aprovechan las experiencias adquiridas con disposiciones parecidas. Las indicaciones del catálogo se refieren a estas aplicaciones.

Nuevos diseños o condiciones extremas muchas veces suponen cálculos o medidas constructivas más amplias que no pueden presentarse en este catálogo. En tales casos deben solicitarse los servicios de FAG. También están disponibles publicaciones especializadas para muchos campos de aplicación. Están indicadas en varios lugares del catálogo.

Programas para PC

La versión 1.1 del **catálogo electrónico de rodamientos FAG** está basado en este catálogo impreso. El programa en CD-ROM, además, es más eficiente y ventajoso para el usuario. El usuario es llevado a la mejor solución segura y rápidamente a través de diálogos y ahorra trabajo y tiempo de otro modo necesario en buscar, seleccionar y calcular rodamientos.

Código de pedido: CD41520/3D-E.

Bajo demanda, estará disponible un CD-ROM para selección y cálculo de rodamientos para un apoyo, un eje o un sistema de ejes.

Detalles de los programas para PC pueden encontrarse en la sección "Programa de servicios FAG", página 689 y siguientes.

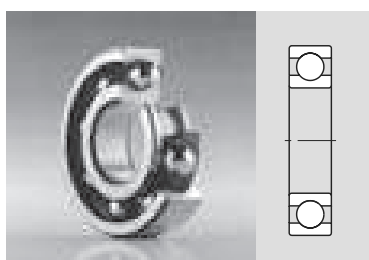
Tipos de rodamientos

Rodamientos de bolas

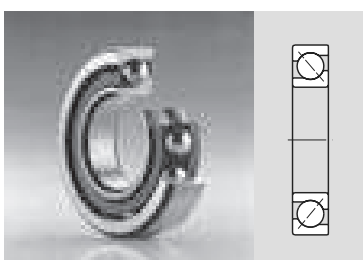
Selección del tipo de rodamiento

El programa de suministro FAG contiene una multitud de tipos de rodamientos que permite al proyectista seleccionar el tipo más apropiado para sus necesidades. Rodamientos de bolas y rodamientos de rodillos se distinguen por el tipo de elementos rodantes. Las siguientes tablas muestran algunos ejemplos

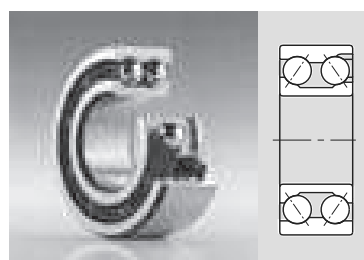
▼ Rodamientos de bolas



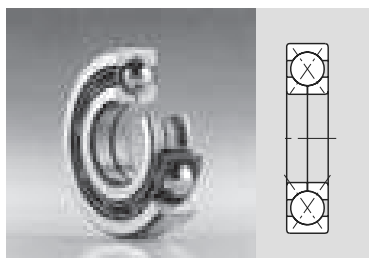
Rodamiento rígido de bolas



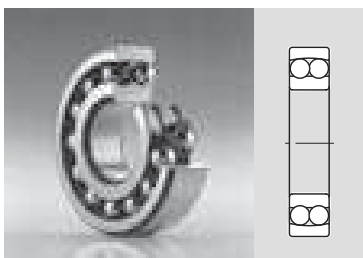
Rodamiento de una hilera
bolas de contacto angular,



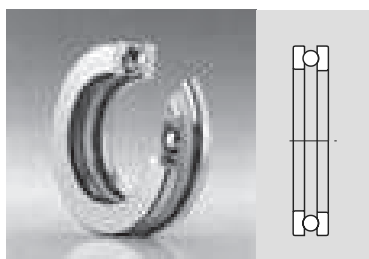
Rodamiento de bolas de contacto
angular de doble hilera



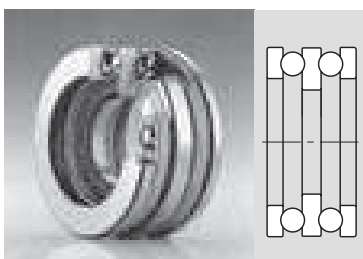
Rodamiento con cuatro caminos
de rodadura



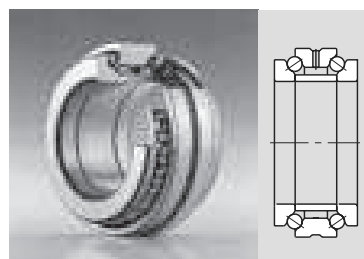
Rodamiento oscilante de bolas



Rodamiento axial de bolas, de simple
efecto



Rodamiento axial de bolas,
de doble efecto

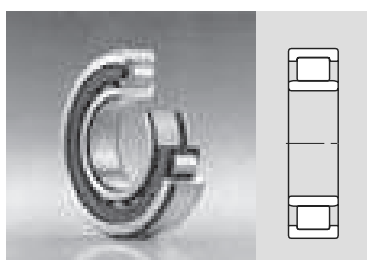


Rodamiento axial de bolas
de contacto angular, de doble efecto

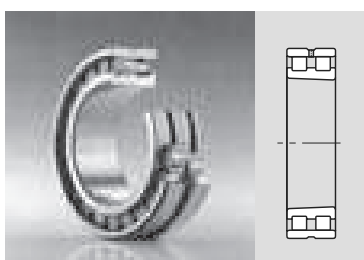
Tipos de rodamientos

Rodamientos de rodillos

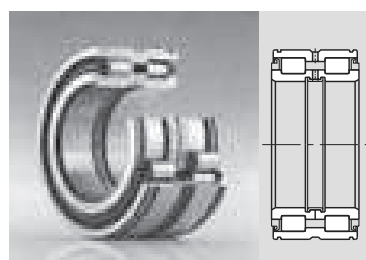
▼ Rodamientos de rodillos



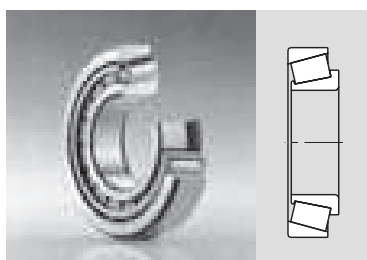
Rodamiento de rodillos cilíndricos, de una hilera



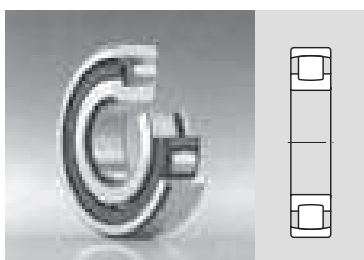
Rodamiento de rodillos cilíndricos, de doble hilera



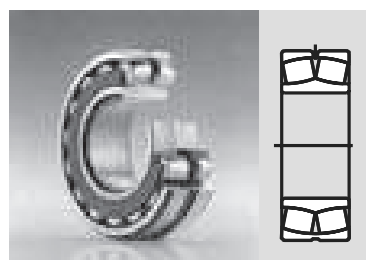
Rodamiento de rodillos cilíndricos, lleno de rodillos



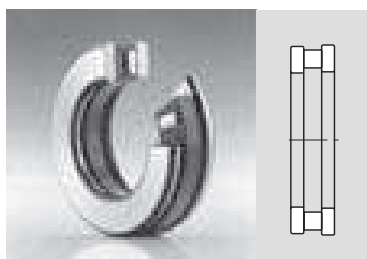
Rodamiento de rodillos cónicos



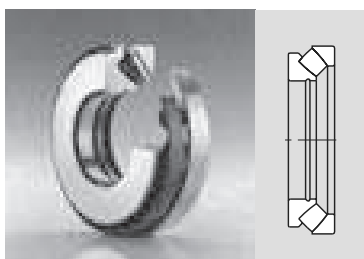
Rodamiento oscilante de rodillos, de una hilera



Rodamiento oscilante tipo E



Rodamiento axial de rodillos cilíndricos



Rodamiento axial oscilante de rodillos

Tipos de rodamientos

Carga radial

En los cuadros sinópticos de las páginas 20 a 23 están recopiladas las características más importantes de cada tipo de rodamiento. Antes de decidirse por un cierto tipo deberán sopesarse muchos criterios. Por ejemplo, muchas exigencias pueden alcanzarse con rodamientos rígidos de bolas.

Pueden soportar cargas radiales y axiales medias, son apropiados para muy elevadas velocidades y giran silenciosamente. También están disponibles rodamientos rígidos de bolas con tapas de protección y tapas de obturación.

Debido a su favorable precio, son más utilizados que otros rodamientos.

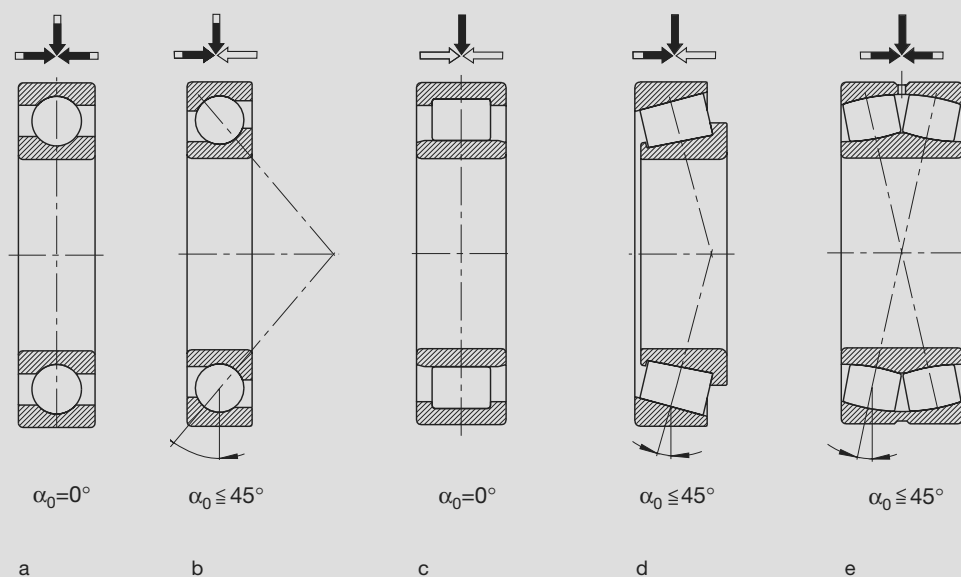
Informaciones más detalladas sobre las propiedades de los tipos de rodamientos y sobre las posibles ejecuciones se dan en los textos preliminares al principio de cada sección de tablas.

Carga radial

Los rodamientos que principalmente han de soportar cargas radiales, se llaman rodamientos radiales. Tienen un ángulo de contacto nominal de $\alpha_0 \leq 45^\circ$. Los rodamientos de rodillos soportan mayores cargas radiales que los rodamientos de bolas de igual tamaño.

Los rodamientos de rodillos cilíndricos tipo N y NU únicamente resisten cargas radiales. Los otros tipos de rodamientos radiales soportan cargas radiales y axiales.

▼ Rodamientos radiales con un ángulo de contacto nominal $\alpha_0 \leq 45^\circ$ principalmente para cargas radiales a = rodamiento rígido de bolas, b = rodamiento de bolas de contacto angular, c = rodamiento de rodillos cilíndricos NU, d = rodamiento de rodillos cónicos, e = rodamiento oscilante de rodillos



Tipos de rodamientos

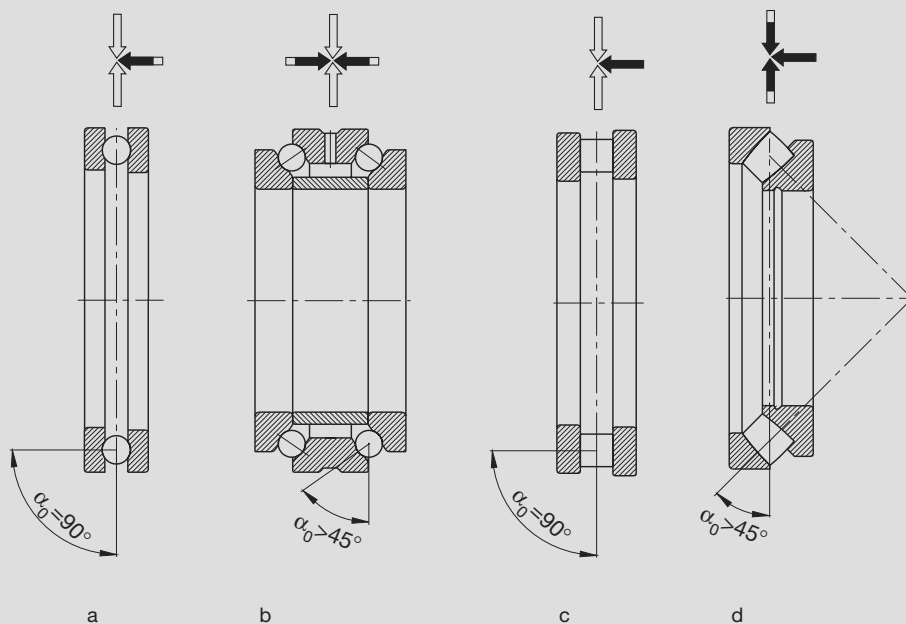
Carga axial

Carga axial

Los rodamientos que principalmente han de soportar cargas axiales (rodamientos axiales), tienen un ángulo de contacto nominal $\alpha_0 > 45^\circ$. Según su diseño, los rodamientos axiales de bolas y los rodamientos axiales de bolas de contacto angular son capaces de absorber fuerzas axiales en sentido único o en ambos sentidos. Cuando existen fuerzas axiales muy elevadas, se prefieren rodamientos axiales de rodillos cilíndricos o rodamientos axiales oscilantes de rodillos.

Los rodamientos axiales oscilantes de rodillos y los rodamientos axiales de bolas de contacto angular, de simple efecto, absorben cargas combinadas axiales y radiales. Los demás tipos de rodamientos axiales solamente absorben cargas axiales.

▼ Rodamientos axiales con un ángulo de contacto nominal de $\alpha_0 > 45^\circ$ principalmente para cargas axiales a= rodamiento axial de bolas, b = rodamiento axial de bolas de contacto angular, c = rodamiento axial de rodillos cilíndricos, d = rodamiento axial oscilante de rodillos.



Tipos de rodamientos

Compensación de las variaciones longitudinales

Compensación de las variaciones longitudinales dentro del rodamiento

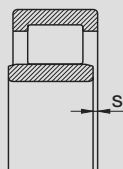
Por regla general un eje tiene un apoyo fijo y otro libre. El apoyo libre compensa las tolerancias longitudinales y las dilataciones térmicas

Los rodamientos libres ideales son los rodamientos de rodillos cilíndricos tipo N y NU. En estos rodamientos, las variaciones longitudinales se compensan en el propio rodamiento. Los aros pueden fijarse firmemente.

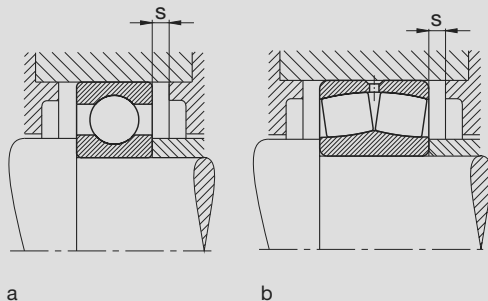
Compensación de las variaciones longitudinales mediante ajuste deslizante

También los rodamientos no despiezables, tales como los rodamientos rígidos de bolas y los rodamientos oscilantes de rodillos, se utilizan como rodamientos libres. En tal caso, uno de los aros tiene un ajuste deslizante y no necesita ningún apoyo axial, por lo que el aro exterior puede desplazarse en el agujero del soporte o el aro interior sobre el eje.

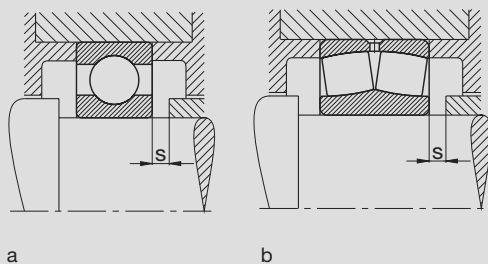
- ▼ El rodamiento de rodillos cilíndricos posibilita el desplazamiento (s) en el rodamiento



- ▼ El ajuste deslizante en el agujero del soporte posibilita el desplazamiento (s) del rodamiento rígido de bolas (a) o del rodamiento oscilante de rodillos (b)



- ▼ El ajuste deslizante en el eje posibilita el desplazamiento (s) del rodamiento rígido de bolas (a) o del rodamiento oscilante de rodillos (b)



Tipos de rodamientos

Rodamientos despiezables · Precisión

Rodamientos despiezables

Se habla de rodamientos despiezables cuando los aros pueden montarse por separado. Esto es ventajoso cuando ambos aros tienen ajuste fijo.

Ejemplos: rodamientos con cuatro caminos de rodadura, rodamientos de bolas de contacto angular de doble hilera con aro interior partido, rodamientos de rodillos cilíndricos, rodamientos de rodillos cónicos, rodamientos axiales de bolas, rodamientos axiales de rodillos cilíndricos y rodamientos axiales oscilantes de rodillos.

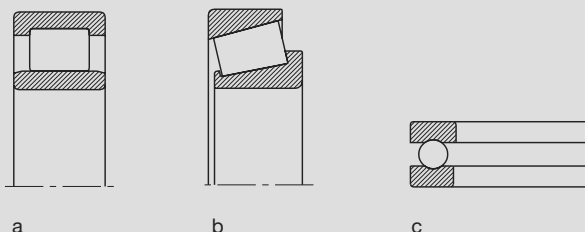
Rodamientos no despiezables: rodamientos rígidos de bolas, rodamientos de bolas de contacto angular de una hilera, rodamientos oscilantes de bolas y rodamientos oscilantes de rodillos, de una y doble hilera.

Precisión

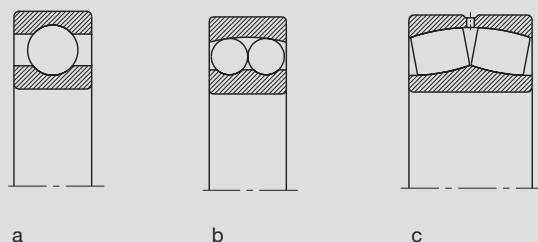
Para la mayoría de aplicaciones, es suficiente con rodamientos de precisión dimensional y de giro normales (clase de tolerancias PN). Cuando hay mayores exigencias, por ejemplo en husillos de máquinas-herramienta, los rodamientos deben tener una precisión mayor. Las clases de tolerancias P6, P6X, P5, P4 y P2 están normalizadas. Para algunos tipos rodamientos existen las clases de tolerancias P4S, SP y UP normalizadas en las fábricas de FAG.

FAG suministra los siguientes rodamientos con mayor precisión: rodamientos para husillos, rodamientos de rodillos cilíndricos y rodamientos axiales de bolas de contacto angular (ver publicación no. AC 41 130 "Super Precision Bearings"). En los textos precedentes a las tablas se indican las diferentes clases de tolerancias a disposición.

▼ Rodamiento despiezable de rodillos cilíndricos (a), rodamiento de rodillos cónicos (b) y rodamiento axial de bolas (c)



▼ Rodamiento no despiezable rígido de bolas (a), rodamiento oscilante de bolas (b) y rodamiento oscilante de rodillos (c)



Tipos de rodamientos

Compensación de errores de alineación · Velocidades · Funcionamiento silencioso

Compensación de errores de alineación

En la mecanización de los asientos de un eje o un soporte pueden producirse errores de alineación, particularmente si los asientos no se han mecanizado en una sujeción. Hay que contar con desalineaciones sobre todo cuando se usan soportes individuales, como p.e. soportes brida o soportes partidos. Los ladeos entre los aros del rodamiento causados por las flexiones del eje como resultado de la carga de servicio también producen desalineaciones.

Los rodamientos auto-alineables, como los rodamientos oscilantes de bolas, rodamientos oscilantes de una hilera de rodillos y los rodamientos axiales y radiales oscilantes de rodillos pueden compensar desalineaciones y ladeos. Estos rodamientos tienen un camino de rodadura cóncavo-esférico en el aro exterior que permite oscular al aro interior junto con los elementos rodantes. El ángulo de adaptación de estos rodamientos depende del tipo, del tamaño y de la carga.

Los rodamientos con anillo de sujeción y rodamientos axiales de bolas con contraplaca tienen una superficie exterior esférica que les permite adaptarse durante el montaje en el agujero cóncavo-esférico del soporte.

Los valores permisibles del ángulo de adaptación deben tomarse de los textos precedentes para los diferentes tipos de rodamientos.

Velocidades

Las velocidades de referencia y límite mencionadas en las tablas, indican si los rodamientos son apropiados para elevadas revoluciones. Las mayores velocidades se alcanzan con rodamientos de una hilera con muy poco rozamiento. Bajo una sollicitación a carga puramente radial son los rodamientos rígidos de bolas y bajo sollicitación a carga combinada los rodamientos de bolas de contacto angular.

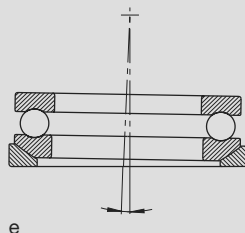
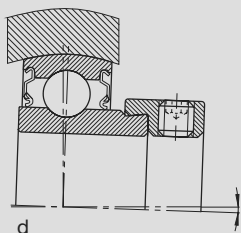
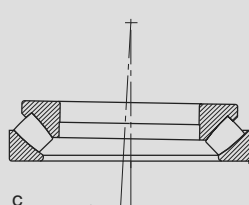
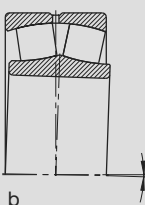
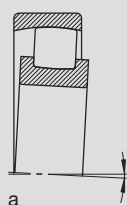
Los siguientes factores ejercen una influencia positiva sobre la aptitud para elevadas velocidades de los rodamientos: elevada precisión dimensional y de giro de los rodamientos y sus partes adyacentes, lubricación por refrigeración y tipos y materiales especiales de las jaulas.

Las velocidades permisibles para rodamientos axiales son menores que las de los rodamientos radiales. Ver capítulo "Aptitud para altas velocidades" en la página 87 para más información.

Funcionamiento silencioso

En máquinas eléctricas pequeñas, máquinas de oficina, aparatos electrodomésticos etc., frecuentemente se exige un nivel de ruido muy bajo. Estas exigencias se satisfacen sobre todo con los rodamientos rígidos de bolas FAG. Como estos rodamientos de por sí tienen un funcionamiento silencioso, no es necesario prever una ejecución especial para cumplir con las exigencias. Es ventajoso prever un ajuste axial de los rodamientos con muelles.

- ▼ Rodamientos autoalineables:
 rodamiento oscilante de una hilera de rodillos, (a); rodamiento oscilante de rodillos (b), rodamiento axial oscilante de rodillos (c);
 rodamiento con anillo de sujeción (d) y rodamiento axial de bolas con contraplaca (e) con superficie exterior esférica



Tipos de rodamientos

Agujero cónico · Rodamientos obturados · Rigidez · Rozamiento

Agujero cónico

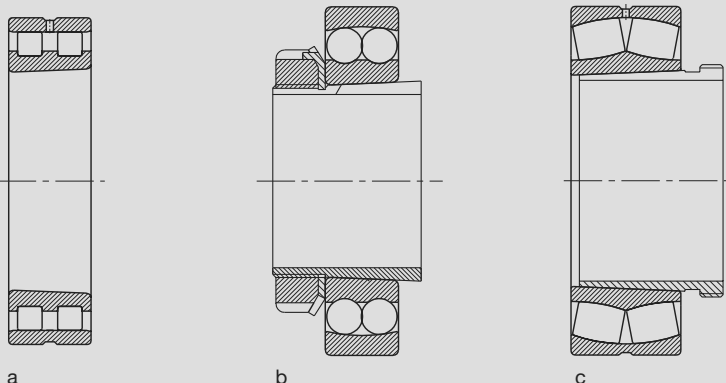
Los rodamientos con agujero cónico pueden montarse directamente sobre un eje cónico, p. e. los rodamientos de rodillos cilíndricos de una y doble hilera en ejecución de precisión.

Durante el montaje de estos rodamientos, puede ajustarse un juego radial definido.

un llenado de grasa por el fabricante están listados en la página 130 bajo “Lubricación de rodamientos con grasa”.

Los ejemplos más comunes son los rodamientos rígidos de bolas de las ejecuciones .2RSR (tapas de obturación a ambos lados) y .2ZR (tapas de protección a ambos lados).

▼ Rodamientos con agujero cónico: a = rodamiento de rodillos cilíndricos, de doble hilera; b = rodamiento oscilante de bolas con manguito de montaje; c = rodamiento oscilante de rodillos con manguito de desmontaje



Bajo moderadas exigencias de precisión de giro los rodamientos oscilantes de bolas, los rodamientos oscilantes con una o doble hilera de rodillos con agujero cónico se montan sobre un eje cilíndrico con ayuda de manguitos de montaje o de desmontaje. El montaje y el desmontaje de estos rodamientos es muy fácil.

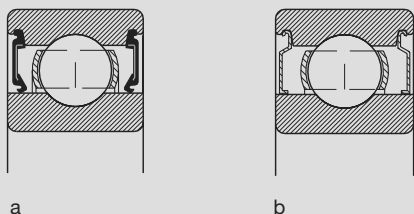
Rodamientos obturados

FAG suministra rodamientos con obturaiones a uno o ambos lados. Los rodamientos con tapas de obturación (ver también página 125) o con tapas de protección (ver también página 124) permiten diseñar construcciones sencillas. Los rodamientos obturados que están provistos con

Rigidez

Por rigidez se entiende la deformación plástica en el rodamiento bajo carga. Sobre todo los apoyos para los husillos principales de las máquinas-herramienta y los apoyos para piñones requieren una rigidez muy elevada. Debido a las condiciones de contacto entre cuerpos rodantes y caminos de rodadura, la rigidez de los rodamientos de rodillos es mayor que la de los rodamientos de bolas. Para aumentar la rigidez se precargan los rodamientos, p. e. en el caso de rodamientos para husillos (ver también publ. FAG no. AC 41 130).

▼ Rodamiento rígido de bolas obturado por ambos lados con tapas de obturación (a) y tapas de protección (b)



Rozamiento

Además de la aportación y la disipación de calor, el rozamiento es un factor particularmente decisivo en la temperatura de servicio de los rodamientos. Ejemplos de rodamientos de bajo rozamiento son: los rodamientos rígidos de bolas, los rodamientos de bolas de contacto angular de una hilera y los rodamientos de rodillos cilíndricos con jaula bajo carga radial. En los rodamientos con obturación rozante, los rodamientos de rodillos cilíndricos llenos de rodillos y los rodamientos axiales de rodillos hay que contar con un rozamiento relativamente elevado.

Tipos de rodamientos

Cuadro sinóptico: Tipos de rodamientos y sus características

Tipo de rodamiento		Características:			
		Carga radial	Carga axial en ambas direcciones	Compensación longitudinal en el rodamiento	Compensación longitudinal con ajuste deslizante
Rodamientos rígidos de bolas					
Rodamientos de bolas de contacto angular					a
Rodamientos de bolas de contacto angular, de doble hilera					
Rodamientos para husillos					a
Rodamientos con cuatro caminos de rodadura					
Rodamientos oscilantes de bolas					
Rodamientos de rodillos cilíndricos NU, N					
NJ					
NUP, NJ + HJ					
NN					
NCF, NJ23VH					
NNC, NNF					

← Rodamientos individuales y rodamientos en tandem en un sentido

a) para montaje por parejas

b) para baja carga axial



Rodamientos despieceables	Compensación de desalineaciones	Elevada precisión	Aptitud para elevadas velocidades	Funcionamiento silencioso	Agujero cónico	Obtención a uno o ambos lados	Elevada rigidez	Bajo rozamiento	Rodamientos fijos	Rodamientos libres

c) aptitud limitada para montaje por parejas
f) muy bien en series estrechas

d) también con manguitos de montaje o desmontaje e) solo carga axial

Tipos de rodamientos

Cuadro sinóptico: Tipos de rodamientos y sus características

Tipo de rodamiento	Características:				
	Carga radial	Carga axial en ambas direcciones	Compensación longitudinal en el rodamiento	Compensación longitudinal con ajuste deslizando	
Aptitud muy buena buena normal / aceptable limitada no adecuada / no aplicable					
Tipos de rodamientos: Rodamientos de rodillos cónicos					a
Rodamientos oscilantes de rodillos, de una hilera					
Rodamientos oscilantes de rodillos					
Rodamientos axiales de bolas					
Rodamientos axiales de bolas de contacto angular					
Rodamientos axiales de rodillos cilindricos					
Rodamientos axiales oscilantes de rodillos					
Rodamientos con anillo de sujeción					

← Rodamientos individuales y rodamientos en tandem en un sentido

a) para montaje por parejas

c) limitada aptitud para montaje por parejas

d) también con manguitos de montaje o desmontaje



	Rodamientos despiezables	Compensación de desalineaciones	Elevada precisión	Aptitud para elevadas velocidades	Funcionamiento silencioso	Agujero cónico	Obturación a uno o ambos lados	Elevada rigidez	Bajo rozamiento	Rodamientos fijos	Rodamientos libres
	●	◐	◑	◒ _c	◐	○	○	● _a	◑	● _a	◐ _a
	○	●	○	◒	◐	● _d	○	◑	◒	◑	◒
	○	●	○	◒	◐	● _d	◒	◑	◑	◑	◒
	●	◒ _g	◑	◒	◐	○	○	◒	◑	◒	○
	●	◒ _g	○	◐	○	○	○	◒	◑	◒	○
	○	◐	●	◑ _c	◐	○	○	◑ _a	◒	● _a	○
	●	○	●	●	◐	○	○	●	◒	●	○
	●	○	◒	◐	○	○	○	◑	○	◑	○
	●	●	○	◐	○	○	○	◑	○	◑	○
	○	◒ _g	○	◐	○	○	●	◒	○	◒	○

g) rodamientos con anillos de sujeción y axiales de bolas con contraplaca compensan desalineaciones durante el montaje